



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TOMMI LEINO

KATTILALAITOKSEN PUTKISTOJEN LAYOUT-ESISUUNNITTELU

Diplomityö

Tarkastaja: professori Asko Ellman
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Teknisten tieteiden tiedekuntaneu-
voston kokouksessa 8. marraskuuta
2013

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

LEINO, TOMMI: Kattilalaitoksen putkistojen layout-esisuunnittelu

Diplomityö, 86 sivua, 5 liitesivua

Tammikuu 2014

Pääaine: Koneiden ja järjestelmien suunnittelu

Tarkastaja: professori Asko Ellman

Avainsanat: Layout, kattilalaitos, putkisto, esisuunnittelu, laitossuunnittelu

Kattilalaitoksen putkistojen layout-esisuunnittelu on osa laajempaa laitossuunnittelun kokonaisuutta ja siinä yhdistyvät sekä layout-suunnittelu että putkistosuunnittelu. Suunnitteluun käytettyjen järjestelmien kehittymisen seurauksena esisuunnitteluun käytetty aika on vähentynyt huomattavasti, mikä on johtanut muun muassa siihen, että eri projektien layoutit eroavat huomattavasti toisistaan. Diplomityön tavoitteena on putkistojen suunnitteluprosessin kehittäminen ja kustannustehokkuuden parantaminen. Lisäksi tavoitteena on lisätä kattilalaitosten vakioinnin astetta tilankäytön näkökulmasta.

Aineistona on käytetty neljän eri kattilalaitoksen 3D-malleja, niiden suunnitteluun liittyviä materiaaleja sekä muita Metson sisäisiä materiaaleja. Kirjallisuustutkimusosassa on perehdytty kattavasti laitos- ja putkistosuunnitteluun liittyvään kirjallisuuteen sekä standardeihin. Kirjallisuustutkimusosan perusteella on pyritty hahmottamaan työn teoreettinen viitekehys.

Diplomityön tuloksena on luotu sijoitusohjeet Metso Powerilla käytettäville moduuleille. Sijoitusohjeiden avulla moduulit voidaan sijoittaa vakiopaikoille eri projekteissa, mikä edesauttaa layoutin vakioimista ja moduuleihin liittyvien putkien suunnittelua. Lisäksi työssä on luotu suunnitelma tilavarausten käytöstä kattilalaitosten putkistojen suunnittelussa. Putkille luodaan yhteisiä tilavarausaukkoja, jotka sijaitsevat eri projekteissa vakiopaikoilla ja niitä hyödyntävä useat eri putkistot. Tilavarausaukkojen lisäksi yksittäisille putkille voidaan luoda erillisiä tilavarausauksia, jos niitä ei voida reitittää käyttäen yhteisiä tilavarausaukkoja.

Tilavarausten avulla tilankäyttöä voidaan tehostaa ja vakioda sekä ohjata alihankintana tehtävää suunnittelua, kun osa putkistojen reitityksestä päätetään jo projektin alkuvaiheessa. Tarkoituksena on, että tilavarauksien avulla suunnittelua voidaan jatkaa joustavasti tarjousvaiheen päättymisen jälkeen, kun kaikille on selvää, että mihin putkistoja on suunniteltu reititettäväksi.

Lopuksi on luotu tulevaisuuden suunnitteluprosessin kuvaus putkistosuunnittelun näkökulmasta. Kuvauksen osana on esisuunnittelun aikajana, jonka avulla eri suunnitteluvaiheiden keskinäistä järjestystä on havainnollistettu. Aikajanalla on kuvattu sekä putkistosuunnittelun että siihen vaikuttavien suunnittelutehtävien osuus esisuunnitteluvaiheen aikaisesta suunnittelusta. Työn viimeinen osuus on kehitysehdotukset, jossa on esitetty ideoita suunnitteluprosessin kehittämiseksi ja tutkittu niiden toteutusmahdollisuuksia lyhyesti.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Mechanical Engineering

LEINO, TOMMI: Layout predesign for boiler plant piping

Master of Science Thesis, 86 pages, 5 Appendix pages

January 2014

Major: Design of machines and systems

Examiner: Professor Asko Ellman

Keywords: Layout, predesign, piping, boiler plant, plant design

Boiler plant piping layout predesign is part of plant design and it combines both layout design and piping design. Because of the evolution of the systems used for engineering and design the time used for piping predesign has declined significantly. That has led to the situation where layouts for different projects differ a lot from each other. The goal of this master's thesis is to continue developing the design process for piping and to enhance cost efficiency. The goal is also to increase the degree of boiler plant layout standardization.

The data used in this master's thesis includes four different 3D models for boiler plants, materials used to design those four boiler plants and other internal material from Metso Power. In the literary research part of this thesis I have familiarized myself with literary and standards concerning plant and piping design. The goal of literary review part of this thesis is to study the theoretical framework behind plant engineering.

As a result of this thesis I have created layout instructions for the modules used at Metso Power. With these layout instructions it is possible to position the modules at standard places during different projects which will help to standardize the layout and the piping joining the modules. I have also created a plan to use space reserving objects in 3D models to help the design of pipe routes. These objects can be placed in standard places inside the boiler plant and space reserved by the objects can be used by different pipes. In addition it is possible to create separate space reservations for isolated pipes that are not routed with any other pipes.

By using space reserving objects it is possible to enhance and standardize the use of space inside boiler plant and also to guide engineering made by subcontractors. This is possible because a lot of the pipe routing decisions are made in the early stages of the project. The idea is that because of the predesign work it is possible to continue engineering flexibly after the bidding phase. This requires that the piping layout plan is clear for everyone.

Lastly I have created a description of the piping design process in the future if the ideas presented in this thesis are implemented. As a part of that description is a timeline demonstrating the order of the engineering work needed during the predesign phase. The timeline includes data needed for piping design and the sequence in which it typically becomes available. The last part of this thesis is suggestions for development that includes ideas to help develop the design process and the evaluation of these ideas.

ALKUSANAT

Tämän diplomityön kirjoittamisen ovat mahdollistaneet Metso Power ja Jimexo. Diplomityö on kirjoitettu Metso Powerilla, mutta olen saanut ohjeita myös Jimexolta kirjoitusprosessin aikana. Aiheen valintaan ovat vaikuttaneet ohjausryhmäni jäsenet ja aihepiirin rajausta on yhdessä pohdittu diplomityön muotoutuessa nykyiseen muotoonsa.

Haluan kiittää ohjausryhmän jäseniä sekä diplomityön tarkastajaa professori Asko Ellmannia. Lisäksi haluaisin kiittää kaikkia muita Metson ja Jimexon työntekijöitä, jotka ovat auttaneet minua tämän diplomityön tekemisen aikana. Ilman kaikkia palavereja, haastatteluja, ohjeita ja keskusteluja tämä diplomityö ei olisi sellainen kuin se nyt on.

Kiitos kuuluu lisäksi perheelleni, joka on tukenut minua läpi opiskelujen sekä ystävilleni, joilta olen saanut sekä ohjeita diplomityön kirjoittamiseksi että mahdollisuuden irtautua sen kirjoittamisesta vapaa-ajalla.

Tampereella 13.12.2013

Tommi Leino

SISÄLLYS

Termit, lyhenteet ja niiden määritelmät	vii
1 Johdanto	1
1.1 Diplomityössä käytetyt termit	2
1.2 Projektiliiketoiminta	3
1.3 Kattilalaitosprojekti	4
1.4 Putkistosuunnittelu osana laitosprojektia	5
2 Höyrykattilalaitokset	8
2.1 Höyrykattila voimalaitoksen osana	8
2.1.1 Tavallinen lauhdutusvoimalaitos	9
2.1.2 Kaukolämpövoimalaitos	10
2.1.3 Teollisuuden vastapainevoimalaitos	10
2.2 Kattiloiden vesihöyrypiiri	11
2.2.1 Luonnonkiertokattilat	11
2.3 Tulipesärakenteet	12
2.3.1 Leijukattilat	12
2.4 Lämmönsiirtimet	13
2.4.1 Keittoputkisto	14
2.4.2 Tulistimet	14
2.4.3 Syöttöveden esilämmittimet	15
2.4.4 Ilmanesilämmittimet	15
2.5 Vesihöyrypiirin oheislaitteet	16
2.6 Ilma- ja savukaasupiiri	17
3 Laitossuunnittelu	19
3.1 Layout-suunnittelu	19
3.2 Putkiston 3D-mallinnus	23
3.3 Putkistokannattimet	24
3.3.1 Liukukannatus	26
3.3.2 Riippukannakkeet	27
3.3.3 Ohjaukset ja kiintopisteet	27
3.3.4 Joustava kannatus	27
3.3.5 Kannatus- ja putkivälit	28
3.4 Lämpölaajenemisen kompensointi	28
3.5 Putkien liittämismenetelmät	29
3.6 PI-kaaviot	30
3.7 Standardit ja lait	31
3.8 Asentaminen	32
4 Modulointi	34
5 Kattilalaitosten analysointi ja esisuunnittelu	40
5.1 Käytetyt ohjelmat	40
5.2 Putkiston suunnitteluprosessi Metsolla	41

5.3	Putkiston kustannukset.....	45
5.4	Putkiston nykytilan analysointi.....	48
5.4.1	Syöttövesiputkisto.....	49
5.4.2	Päähöryputki.....	51
5.4.3	Nuohoushöyry.....	52
5.4.4	Venttiilit.....	52
5.5	Moduulien sijoittaminen.....	53
5.6	Tilavaraukset.....	56
5.7	Suunnitteluprosessin aikajana.....	64
5.8	Kehitysehdotukset.....	69
5.8.1	PI-kaaviot.....	69
5.8.2	COMOS-ohjelma.....	73
5.8.3	Putkiston prioriteettiluokat.....	75
6	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	79
6.1	Yhteenveto.....	79
6.2	Johtopäätökset.....	81
	Lähteet.....	83
	Liitteet.....	87

TERMIT, LYHENTEET JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

BFB	Bubbling Fluidized Bed, kerrosleijukattila
CFB	Circulating Fluidized Bed, kiertoleijukattila
CHP	Combined Heat and Power, sähkön ja lämmön yhteistuotanto
CPM	Critical Path Method, kriittisen polun menetelmä, aikataulusuunnittelun menetelmä
DN	Diamètre Nominal, nimellinen putkikoko
EKO	Ekonomaiseri, engl. economizer, syöttöveden esilämmitin
Isometri	Isometrinen mittapiirustus, esimerkiksi putki-isometrejä käytetään putkistojen esivalmistamiseen ja asentamiseen
Layout	Sijoitus suunnitelma
LUVO	Ilman esilämmitin, luftvorwärmer
LVI	Lämpö, vesi ja ilmastointi
ISO	International Organization for Standardization, kansainvälinen standardoimisjärjestö
Malli	Tässä työssä PDMS-ohjelmalla luotu 3D-malli kattilalaitoksesta
Navisworks	Autodeskin valmistama 3D-mallin katselemiseen käytetty ohjelmisto, Navisworks Freedom 2013
PDMS	Plant Design Management Software, AVEVA:n valmistama suunnitteluohjelmisto
PED	Pressure Equipment Directive, painelaitedirektiivi
PERT	Program Evaluation and Review Technique, aikataulusuunnittelun menetelmä
PI-kaavio	Putkisto- ja instrumenttikaavio, myös prosessi- ja instrumentointikaavio
PSK	PSK Standardisointi, standardisointijärjestö
SFS	Suomen standardoimisliitto ry
WBS	Work Breakdown Structure, työnositusmenetelmä

1 JOHDANTO

Pienillä prosentuaalisilla säästöillä saavutettavat euromääräiset säästöt kattilalaitosprojekteissa ovat suuria, koska pienetkin kattilalaitokset maksavat miljoonia euroja. Säästöt voivat olla vielä suurempia, jos niitä voidaan yhden projektin sijaan tavoitella kaikissa projekteissa. Siksi on järkevää kehittää kattilalaitosten suunnittelua siten, että samoja menetelmiä voidaan käyttää erilaisissa projekteissa. Kustannuskilpailu kattilalaitostöimittajissa on kiristynyt jatkuvasti ja kattilalaitostöimittajat joutuvat kilpailemaan myös muiden energia-alan toimijoiden kanssa. Siten kustannussäästöjen löytämisestä on tullut entistä tärkeämpää. Tämän diplomityön tavoitteena on kehittää laitossuunnittelua siten, että kustannussäästöjen saavuttaminen on mahdollista.

Aihepiirinä laitossuunnittelu on laaja ja mielenkiintoinen, mutta myös haastava. Osaltaan juuri laitossuunnittelun laajuus tekee siitä haastavaa, koska esimerkiksi putkistojen suunnittelussa on otettava huomioon monenlaisia asioita virtauslaskennasta lujuusoppiin. Tämän lisäksi laitossuunnittelun eri osa-alueet vaikuttavat toisiinsa monella eri tapaa, eikä putkistosuunnittelua voi tehdä ymmärtämättä vähintään perusteita kaikista osa-alueista. Diplomityö sivuaa muun muassa rakenne- ja prosessisuunnittelua, mutta liittyy pääasiassa putkisto- ja layout-suunnitteluun. Putkistosuunnittelun osalta esimerkiksi putkistojen mitoitus ja putkiluokkien laskeminen tai putkivarusteiden valitseminen mitoituksen perusteella ei ole tämän työn kannalta oleellista.

Tämän diplomityön alussa määritellään työssä käytetyt termit, perehdytetään lukija projektiliiketoiminnan erityispiirteisiin kattilalaitosprojektin näkökulmasta sekä käsitellään putkistosuunnittelua osana laitossuunnitteluprojektia. Johdannon tarkoituksena on luoda lukijalle riittävä ymmärrys kattilalaitosprojekteista ja putkistosuunnittelusta, että seuraavissa luvuissa käsiteltävät asiat olisivat helpommin ymmärrettävissä, vaikkei lukijalla olisi kokemusta aihepiiristä.

Seuraavissa kolmessa luvussa perehdytetään lukija työhön liittyvään kirjallisuuteen. Putkistojen layout-suunnittelun kannalta on tärkeää ymmärtää kaikki sijoitussuunnitteluun vaikuttavat tekijät. Höyrykattilalaitoksien erityispiirteet käsitellään luvussa kaksi. Luvussa selvitetään erilaisten voimalaitosten erot sekä höyrykattilalaitoksiin kuuluvat osajärjestelmät ja laitteet. Teoriaosuus jatkuu luvussa kolme, joka käsittelee laitossuunnittelua pääasiassa putkisto- ja layout-suunnittelun näkökulmasta. Luvussa neljä käsitellään lyhyesti modulointia ja sen merkitystä tälle työlle sekä Metson moduuleja.

Luku viisi on työn soveltava osuus, jossa teoriaosuudessa käsitellyt asioita hyödynnetään. Soveltavassa osuuden alussa esitellään työssä käytetyt ohjelmat, kuvataan putkiston suunnitteluprosessin nykytila ja lasketaan putkistosta aiheutuvia kustannuksia. Tämän jälkeen käsitellään moduulien sijoittamiseen vaikuttavia tekijöitä ja laaditaan oh-

jeet moduulien sijoittamiseksi. Motivaationa sijoitusohjeiden laatimiselle on kattilalaitoksen sisäisen layoutin parempi vakiointi sekä nykyisten moduulien käytön tehostaminen. Moduulien sijoitusohjeista jatketaan yleisempiin sijoitusohjeisiin, joiden avulla on tarkoitus tehostaa putkistojen esisuunnittelua. Tämän jälkeen on laadittu kuvaus suunnitteluprosessista tulevaisuudessa sekä siihen liittyvä aikajana. Aikajanan avulla aikaisemmin luotuja sijoitusohjeita voidaan hyödyntää suunnitteluprosessin kannalta oikeaan aikaan. Aikajanalta selviää myös osa putkistosuunnittelun tarvitsemista lähtötiedoista sekä osa suunnittelun tuottamista tuloksista. Lopuksi on esitetty kehitysehdotuksia sekä tutkittu niiden toteutusmahdollisuuksia nyt ja tulevaisuudessa. Kehitysehdotukset eivät liity vain suunnitteluprosessiin, vaan myös käytettyihin työkaluihin sekä toimintatapoihin.

1.1 Diplomityössä käytetyt termit

Tässä työssä käytetään paljon termejä, joilla ei ole yleisesti hyväksyttyä tai yksiselitteistä merkitystä. Niiden ymmärtämisen kannalta on kuitenkin tärkeää, että ne määritellään mahdollisimman yksiselitteisesti. Lukijan kannattaa huomioida, että vaikka tässä työssä termeille annetaan tietty merkitys, niin muualla samoja termejä voidaan käyttää toisessa merkityksessä. Lisäksi kaikille termeille ei voi antaa täysin yksiselitteistä merkitystä, koska esimerkiksi peräkkäisten suunnitteluvaiheiden ajallinen erottaminen toisistaan ei ole tarkkaa. Saman yrityksenkin sisällä eri ihmiset voivat tulkita samoja termejä eri tavoin.

Kattilalaitoksen suunnittelu alkaa jo ennen toimitussopimuksen allekirjoitusta. Tarjousvaiheessa pyritään ymmärtämään ja yhdessä selvittämään asiakkaan vaatimukset sekä määrittelemään tuote, joka vastaa asiakkaan tarvetta. Jo tarjousvaiheessa joudutaan tekemään suunnittelutyötä, koska oikea hinnoittelu edellyttää mahdollisimman tarkkaa tietoa käytettävistä ratkaisuista. Metsolla esisuunnitteluksi kutsutaan yleensä sopimuksen allekirjoitusta edeltävää suunnittelutyötä, joka tapahtuu tarjousvaiheessa sekä sopimuksen allekirjoituksen jälkeen tapahtuvaa perussuunnittelua edeltävää suunnittelua. Esisuunnittelun tarkoituksena on tukea kattilalaitoksen hinnoittelua ja mahdollistaa suunnittelun jatkuminen joustavasti, jos Metso valitaan kattilalaitoksen toimittajaksi. Optimaalisessa tilanteessa esisuunnittelutyö vähentää myös varsinaiseen suunnittelutyöhön kuluvaan aikaa, kun laitoksen suunnittelussa on otettu kokonaisuus paremmin huomioon.

Layout-suunnittelulla tarkoitetaan järjestelmien sijoittelua tietyn tilan puitteissa. Toisin sanoen layout on sijoitussuunnitelma. Vastaavasti layout-esisuunnittelu on esisuunnitteluvaiheessa tapahtuvaa layoutin alustavaa suunnittelua. Esisuunnittelun jälkeen alkaa perussuunnittelu, jonka aikana mitoitetaan esimerkiksi putkistot. Mitoituksella tarkoitetaan standardin mukaista laskentaa, jonka tuloksena voidaan saada esimerkiksi seinämävahvuus putkelle. Perussuunnittelua seuraavan detaljisuunnittelun aikana mallia tarkennetaan lopulliselle tasolle. Detaljisuunnittelun lopputuloksena saadaan muun muassa piirustuksia, joiden avulla kattilarakennus eri järjestelmineen voidaan koota.

Modulointia käytetään tässä työssä hyvin laajassa merkityksessä. Kirjallisuudessa termille on olemassa erilaisia merkityksiä, joita käsitellään kappaleessa 4. Fyysisen moduulin lisäksi moduulilla voidaan tarkoittaa suunnittelussa hyödynnettävää moduulia, joka voi olla esimerkiksi PI-kaaviossa projektista toiseen samanlaisena toistuva lohko. Suunnittelumoduuli voi olla myös 3D-mallin osa, jota hyödynnetään useissa eri paikoissa ja jonka tarkoituksena on vähentää toistuvaa suunnittelutyötä.

Laitossuunnittelulla tarkoitetaan kaikkea suunnittelua, mikä on edellytyksenä toimivan laitoksen aikaansaamiselle. Se voi pitää sisällään muun muassa prosessi-, layout-, putkisto-, laite- ja teräsrakennesuunnittelua. Ideaalitapauksessa näihin kaikkiin suunnitteluprosesseihin on sisäänrakennettuna esisuunnitteluvaihe. Prosessisuunnittelua on esimerkiksi aine- ja energiatasesuunnittelu, virtaus- ja PI-kaavioiden laatiminen, prosessikuvausten tekeminen, laitevalinnat ja mitoitus sekä prosessien simulointi. (SAV Oy, 2013)

Tämän diplomityön kannalta keskeisiä laitossuunnittelun osa-alueita ovat layout-suunnittelu ja putkistosuunnittelu. Layout-suunnittelu pitää sisällään laitesijoitussuunnittelua, jonka tehtävänä on löytää optimaaliset paikat muun muassa päälaitteille, apulaitteille, pumpuille ja materiaalivarastoille. Laitesijoitussuunnittelun lisäksi layout-suunnittelu voi tuottaa tietoa rakennustehtäväsuunnitteluun esimerkiksi perustusten kuormatietojen muodossa. Putkistosuunnittelu on käytännössä putkistojen reititystä, putkiluokkien laatimista, putki- ja putkiosaluetteloiden laatimista ja päivittämistä, putkistoisometrien luomista, kannakkeiden suunnittelua sekä putkiston jännitys- ja joustavuusanalyysien tekemistä. (SAV Oy, 2013)

Termillä tilavaraus tarkoitetaan tässä diplomityössä PDMS:n työkaluilla dokumentoitua paikkaa kattilarakennuksessa, mikä on varattu esimerkiksi putkien käyttöön eikä sen läpi saa sijoittaa kulkemaan risteäviä putkia tai rakenneteräksiä. Tilavaraus voidaan dokumentoida käyttämällä PDMS:n työkaluja, jolla tilavaroja voidaan luoda 3D-malliin. Toinen vaihtoehto on merkitä varattu tila 2D-piirrustuksiin.

Putkistoon liittyen esivalmistuksella tarkoitetaan prosessia, jonka seurauksena suorasta putkesta saadaan asennettavaksi sopivia kappaleita. Esivalmistusaste voi vaihdella ja pieniä putkia ei välttämättä esivalmisteta ollenkaan, vaan ne muokataan työmaalla.

1.2 Projektiliiketoiminta

Kirjassa Projektiliiketoiminta (Artto et al. 2011, s. 26) projekti on määritelty seuraavasti: ”Projekti on ennalta määritettyyn päämäärään tähtäävä, monimutkaisten ja toisiinsa liittyvien tehtävien muodostama ajallisesti, kustannuksiltaan ja laajuudeltaan rajattu ainutkertainen kokonaisuus.” Projektin määritelmään sisältyy paljon edellytyksiä, joiden on täyttyvä, jotta kyseessä olisi projekti eikä esimerkiksi toistuva toiminta. Toistuvasta toiminnasta projektin erottaa muun muassa käytössä oleva aika, joka on projektin tapauksessa rajattu, kun taas toistuvassa toiminnassa ei usein ole tarpeen ottaa kantaa ajalliseen rajaukseen. Kaikki projektit ovat kirjan määritelmän mukaan myös ainutkertaisia kokonaisuuksia ainakin jollain tavalla. Ainutkertaisuuden vaatimus voi täytyä jo organisaation muuttuessa edellisestä projektista tai jos olosuhteet ovat muuttuneet. Mää-

ritelmä vaatii projektin olevan laajuudeltaan ja kustannuksiltaan rajattu, mikä edellyttää etukäteissopimusta molemmista. (Artto et al. 2011, s.26-27)

Projektin kustannuksia voidaan mitata esimerkiksi rahana, henkilötöyönä tai aikana. Kaikkia näitä varten voidaan laatia ennakkoon budjetti, jonka puitteissa projekti on toteutettava. Projektiin liittyy yleensä joukko tehtäviä, jotka liittyvä toisiinsa ja ne on toteutettava tietyssä järjestyksessä. Osittain tästä järjestyksestä johtuen projektit saattavat olla hyvinkin monimutkaisia. (Artto et al. 2011, s. 27)

Artton et al mukaan: ”Projektiliiketoiminta on projekteihin liittyvää johdettua ja tavoitteellista toimintaa, joka palvelee yrityksen päämäärien saavuttamista.” Yritystä on käyty kirjassa hyvin laajassa merkityksessä kuvaamaan mitä tahansa organisaatiota, joka ei välttämättä edes harjoita varsinaista liiketoimintaa. Jos kyseessä kuitenkin on esimerkiksi osakeyhtiö, niin päämääränä on usein voitollisen liiketoiminnan harjoittaminen. (Artto et al. 2011, s.17)

Kaikilla projekteilla on sidosryhmiä, jotka voidaan luokitella sen mukaan, mikä on niiden vaikutusmahdollisuus projektin lopputulokseen. Yhteys voi olla välillinen tai suora. Sidosryhmät voivat olla yksilöitä, ryhmiä tai organisaatioita. Suorassa yhteydessä projektiin ovat ainakin projektipäällikkö, projektiorganisaatio, projektiryhmä, projektin toteuttavan yrityksen organisaatioyksikkö, asiakas, käyttäjä ja tilaaja. Näiden lisäksi on olemassa joukko potentiaalisia sidosryhmiä, jotka voivat olla suorassa tai välillisessä yhteydessä projektiin: toimittajat ja palveluntarjoajat, viranomaiset, rahoittajat, media, kilpailijat ja yhteiskunta. (Artto et al. 2011, s.41-43)

Projektiliiketoiminnassa asiakas voi olla yksittäinen henkilö tai isommissa projekteissa yleensä yritys, jota edustaa tietty henkilö. Asiakas on olemassa siitä huolimatta onko kyseessä ulkoinen toimitusprojekti vai sisäinen investointiprojekti. Tilaaja on ulkoisen toimitusprojektin asiakas. Toimittajan kannattaa olla yhteydessä useisiin tilaajan edustajiin, jos kyseessä on suuri projekti. Lisäksi olisi hyvä tunnistaa asiakkaan edustaja, joka tekee lopulliset päätökset. (Artto et al. 2011, s. 44-45)

Seuraavissa luvuissa esiteltävän kattilalaitosprojektin lisäksi myös tämä diplomityö on esimerkki projektista. Diplomityön yhtenä päämääränä on tämän dokumentin valmistuminen ja siihen on varattu tietty määrä aikaa sekä muita resursseja. Diplomityö muodostaa rajatun ainutkertaisen kokonaisuuden ja projektilla on useita eri sidosryhmiä. Monista yhtymäkohdista huolimatta diplomityö, kuten kaikki tutkimus- ja kehitysprojektit, on luonteeltaan erilainen kuin perinteinen projekti, siihen liittyvän epävarmuuden takia. Vaikka tuloksista ei ole varmuutta, niin tutkimus- ja kehitysprojekteissa ei kannata tinkiä tavoitteellisuudesta ja suunnitelmallisuudesta. (Artto et al. 2011, s.23-24)

1.3 Kattilalaitosprojekti

Voimalaitostoimituksessa toimittajia voi olla useita, koska kattilalaitos voidaan ostaa eri toimittajalta kuin sähköntuotantoon tarkoitettu turbiinilaitos. Toimituslaajuus on päätettävissä tapauskohtaisesti. Myös asiakas voi olla eri organisaatio kuin voimalaitoksen varsinainen käyttäjä, koska isoissa energiayhtiöissä on usein eri organisaatio investoin-

neille ja voimalaitosten jokapäiväiselle operoinnille. Siten toimittajan onkin tärkeää kuunnella asiakkaan lisäksi myös käyttäjää. (Artto et al. 2011, s. 42)

Kattilalaitosprojekti on hyvä esimerkki eri näkökulmista projektiin. Kattilalaitoksen myyjälle kyse on toimitusprojektista ja kattilalaitoksen ostajalle kyse on investointiprojektista. Ostaja on tällöin asiakas ja myyjä on toimittaja. Myyjä toimittaa asiakkaalle asiakaskohtaisen ratkaisun, joka saattaa olla hyvinkin pitkälle räätälöity ja eroaa huomattavasti sarjatuotannosta. Toimitusprojekti tuottaa asiakkaalle arvoa, josta asiakas on valmis maksamaan, mikä toisaalta lisää osaltaan toimittajallekin koituvaa arvoa. (Artto et al. 2011, s.18-19)

Vaikka asiakkaan ja toimittajan näkökulmat projektiin ovat erilaiset, niin myös yhteisiä osia on olemassa. Projektitoimituksesta tehtävä sopimus sitoo kaupan molempia osapuolia. Sopimuksessa voidaan määritellä sekä kannustimet että rangaistukset, jotka liittyvät mahdollisiin poikkeamiin, kuten yksinkertaisimmillaan toimituksen myöhästymiseen. Hinnan määräytyminen on projektiliiketoiminnassa monimutkaisempaa kuin vakioidun tavaran kaupassa. Hinta on tyypillisesti sitä suurempi, mitä enemmän vastuuta ja riskejä toimittajalla on. Vastuut ja riskit määräytyvät tehdyn sopimuksen perusteella. Sopimuksen lisäksi voidaan laatia projektisuunnitelma, jonka tarkoituksena on taata yhteinen näkökulma tilaajan ja toimittajan välillä. (Artto et al. 2011, s.22)

Standardin SFS-EN 12952-6 mukaan valmistaja luovuttaa ostajalle suunnittelun ja valmistuksen asiakirja-aineiston, kun sopimus on täytetty. Asiakirjat pitävät sisällään muun muassa vesiputkikattilan yleiset kokoonpanopiirustukset, paineenalaisten osien kokoonpanopiirustukset, kuvauksen vesiputkikattilasta, yhteenvedon eroosio- ja korroosiovaaroista koskien kaikkia paineenalaisia osia sekä todistuksen painekokeen suorittamisesta. Lisäksi asiakirjoista on selvittävä pätevyyden vaativien töiden suorittajien pätevyystodistusten viitenumerot. (SFS-EN 12952-6, 2011)

1.4 Putkistosuunnittelu osana laitosprojektiä

Prosessiteollisuudessa putkiston tehtävänä on kuljettaa prosessissa tarvittavia aineita laitteelta toiselle sekä varastosta tai säiliöstä tuotantoyksikköön. Putkistosuunnittelun tavoitteena on suunnitella systeemi, joka mahdollistaa näiden tehtävien toteutumisen häiriöttömästi. Kattilalaitokselle ja prosessilaitokselle on yhteistä suunnitteluprojektien laajuus sekä niihin liittyvät suuret tietomäärät. Tavallaan myös voimalaitos on prosessilaitos, koska siellä raaka-aineena on erilaisia polttoaineita ja lopputuotteena sähkö ja/tai lämpö. Prosessilaitossuunnitteluun voidaan katsoa kuuluviksi putkistosuunnittelun lisäksi seuraavien suunnittelualojen: prosessi-, layout-, laite-, teräsrakenne-, automaatio-, sähkö-, rakennus ja LVI-suunnittelu. (Kesti 1992, s. 12)

Projektien aikatauluttamiseen on olemassa monenlaisia menetelmiä, joista yksi vanhimmista on janakaavio, jonka hyviksi puoliksi voidaan lukea selkeys ja helppolukuisuus. Janakaaviossa vasemmassa reunassa on luettelo eri tehtävistä ja luettelon oikealla puolella on aikataulu, johon on palkeilla merkitty jokaisen tehtävän kesto. Yksinkertainen janakaavio ei kuvaa tehtävien välisiä riippuvuuksia, eikä siitä selviä mahdollisia

pelivaroja. Janakaaviota monipuolisempaa menetelmää tarvittaessa projektin aikataulutamiseen voidaan käyttää erilaisia tehtäväverkkomenetelmiä. Tehtäväverkoista voidaan käyttää myös nimeä toimintaverkko. Aikataulusuunnittelun kaksi mahdollisesti yleisintä menetelmää ovat PERT (Program evaluation and Review Technique) ja kriittisen polun menetelmä (Critical Path Method, CPM). Molemmat korostavat tehtävien välillä olevia riippuvuuksia, mutta erojakin löytyy. Yleisenä periaatteena tehtäväverkoissa on, että tehtävät kulkevat ajallisesti vasemmalta oikealle ja niiden välisiä yhteyksiä kuvataan nuolilla. (Artto et al. 2011, s. 17-131)

Putkistoprojekti alkaa esisuunnittelulla, jonka tehtävänä on selvittää investointi- ja käyttökustannukset. Se voi pitää sisällään tutkimustyötä, virtauskaavioiden laadintaa ja toiminnan testausta. Esisuunnittelua käytetään pohjana hankearviolle ja kannattavuuden tutkimiselle. Perussuunnittelu voi alkaa, jos hankearvion ja esisuunnittelun perusteella projekti näyttää kannattavalta. (Kesti 1992, s. 19) Kosken (1989) mukaan perussuunnitteluun voidaan saada seuraavia tietoja esisuunnittelusta: alustava virtauskaavio, jossa on putkikokoarviot, linjamääräarviot, varustemääräarviot, alustavat putkistomateriaaliarviot ja liittyminen muihin prosesseihin sekä tilavaraukset layouttiin, alustavat työmääräarviot ja putkiston kustannusarvio (katso Kesti 1992, s. 19). Käytännössä saatavien tietojen määrä riippuu siitä, että kuinka pitkälle esisuunnittelua on ehditty tehdä ja kuinka paljon lähtötiedot muuttuvat vielä esisuunnittelun jälkeen (Kesti 1992, s. 19).

Perussuunnittelu jatkuu putkiluokkien määrittelyllä ja putkimateriaalien alustavalla valinnalla. Perussuunnitteluvaiheessa PI-kaavion olisi hyvä olla lähes valmis, koska muutokset kostahtavat myöhemmin. PI-kaavio on pohjana suurelle osaa suunnittelua, putkistosuunnittelijat hyödyntävät PI-kaaviota putkilinjojen reittejä suunniteltaessa. Projektin sisäiseen käyttöön voidaan laatia putkistosuunnitteluohje, jossa puolestaan voidaan määrittellä noudatettavat standardit, piirtämissuhde, eristysohjeet ja maalausohjeet. Tämän jälkeen projektin suunnittelu jatkuu alue-layoutin tekemisellä. Siinä prosessiyksiköt esitetään suunnitellun alueen sisällä ja määrittellään Kosken (1989) mukaan muun muassa aluekoordinaatisto, aluekorot, rakennusten sijainnit, putkisillat, suojaetäisyydet, lastaus- ja purkauspaikat sekä viemärit ja kaukolämpöputket. (katso Kesti 1992, s. 21)

Alue-layoutin yleisemmän hahmottelun jälkeen laitos-layoutissa määrittellään jo tarkemmin laitoksen sisällä olevien järjestelmien sijainteja ja niiden viemää tilaa. Kosken (1989) mukaan laitoskoordinaatiston, kerroskorojen ja laitteiden sijoitusten lisäksi määrittellään tilavaraukset seuraaville asioille: putkisto, sähköistys, instrumentointi, LVI, hoitotasot ja kunnossapito (katso Kesti 1992, s. 21-22). Periaatteessa tilavarausten jälkeen voidaan jo suunnitella kannakkeiden paikkoja alustavasti. (Kesti 1992, s. 21-22)

Detaljisuunnitteluvaiheessa kaikki alustavat tiedot pyritään varmistamaan, koska tämän vaiheen jälkeen on pystyttävä tilamaan ja asentamaan putkisto sekä laitteet paikalleen. Nyt on tehtävä myös lopulliset päätökset käytettävistä laitteista, kuten pumpuista, venttiileistä ja putkien kokoluokista sekä reitityksistä. Taulukossa 1.1 on koottuna detaljisuunnittelun tarvitsemat lähtöarvot Kosken (1989) mukaan. (Kesti 1992, s.22)

Taulukko 1.1. Detaljisuunnittelun tarvitsemia lähtöarvoja. (Koski 1989, katso Kesti 1992, s. 22)

virtauskaavio
PI-kaavion runko
putkiston suunnitteluohje
virtaavien aineiden:
-tiheys
-tilavuusvirta (minimi, maksimi, normaali, mitoitus)
-lämpötila
-viskositeetti
-höyrystymispaine pumppauslämpötiloissa
lujuuslaskentaa vaativien linjojen:
-minimi ja maksimi käyttölämpötila
-minimi ja maksimi käyttöpaine
-muut kuormitustiedot

Viimeistään detaljisuunnitteluvaiheessa PI-kaavion on täsmennyttävä yksityiskohtaiselle tasolle. PI-kaaviosta voidaan nähdä tietoja prosessin teknisistä ratkaisuksista ja laitevalinnoista sekä siinä esitetään prosessin eteneminen. Sen tavoitteena on myös tarkentaa laite- ja instrumenttitietoja sekä olla pohjana mahdolliselle laitteiden jatkosuunnittelulle. PI-kaaviota voidaan myös käyttää esimerkiksi suunnittelijoiden perehdyttämiseen, jos prosessi ei ole heille tuttu tai se voi toimia käyttöohjeena asennus-, kunnossapito ja käyttöhenkilöstölle. (Koski 1989, katso Kesti 1992, s. 24)

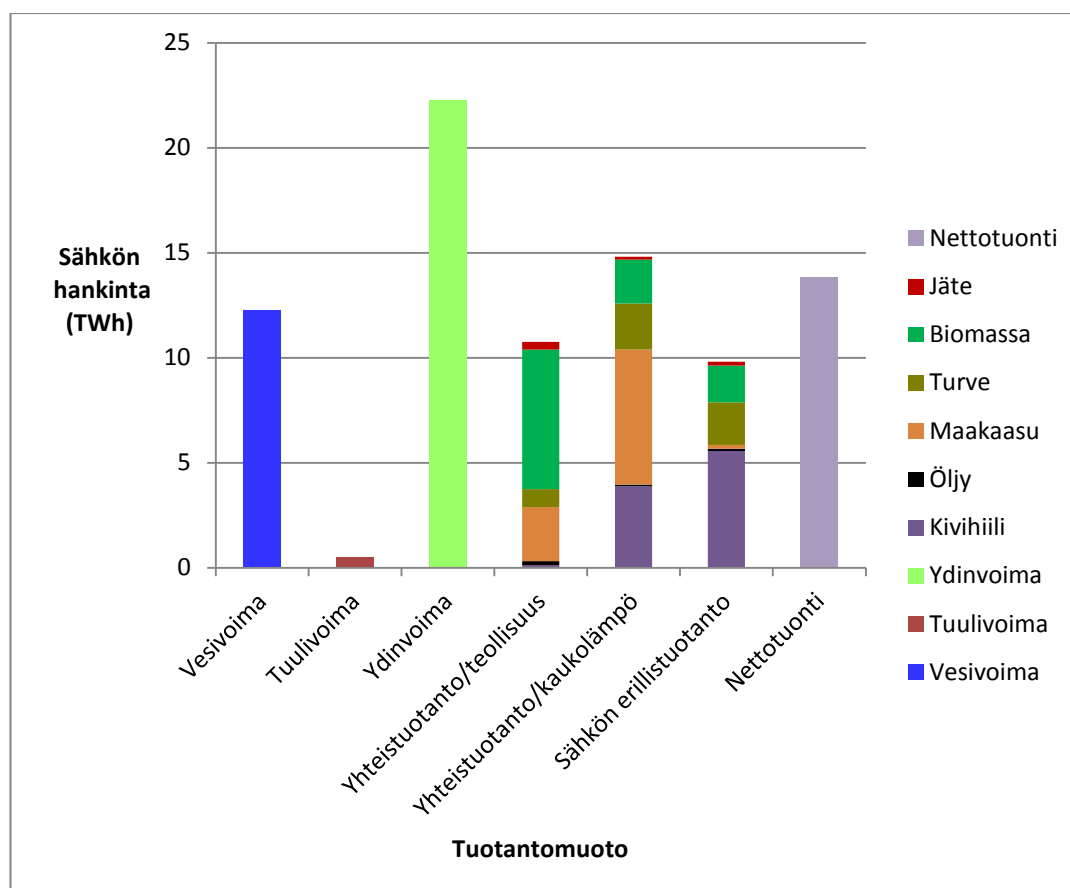
Taso- ja leikkauspiirustukset sisältävät myös putkistosuunnittelun kannalta oleellista tietoa putkireiteistä ja läpivienneistä. Piirustuksissa jokainen taso on piirretty erikseen ja leikkauspiirustuksia laaditaan tarpeen mukaan. Putkilinjaluetelo ja putkivarusteluettelot sisältävät tietoa linjoista ja niiden varusteista luetteloidussa muodossa, jotta niitä olisi helppo hyödyntää hankinta- ja asennusvaiheessa. Hankinta- ja asennusvaiheessa tarvitaan lisäksi putki-isometrejä, joiden avulla putkia voidaan esivalmistaa sekä asentaa paikalleen. Kannakesuunnittelua tehdään usein lähes samanaikaisesti putki-isometrien laadinnan kanssa, erityisesti jos putket vaativat lujuuslaskentaa. (Kesti 1992, s. 24)

2 HÖYRYKATTILALAITOKSET

2.1 Höyrykattila voimalaitoksen osana

Merkittävä osa Suomen käyttämästä sähköstä tuotetaan voimalaitoksissa, joiden osana kattilalaitos toimii. Kattilalaitoksen sijaan voimalaitos voi saada käyttövoimansa myös esimerkiksi virtaavasta vedestä tai ilmasta sekä ydinvoimalaitoksissa fission synnyttämästä lämmöstä. Kattilalaitoksissa voidaan käyttää erilaisia polttoaineita sen tyypistä riippuen. (Sähkön hankinta energialähteittäin, 2012)

Kuvassa 2.1 on eroteltuna sähkön hankinta tuotantomuodoittain ja energianlähteen perusteella. Sähkön hankinta Suomessa vuonna 2011 oli yhteensä 84,24 TWh, siitä 19,33 TWh tuotettiin fossiilisilla polttoaineilla. Fossiilisten polttoaineiden osuus ei pidä sisälään turpeella tuotettua sähkön osuutta, joka oli 5,04 TWh. Metsäteollisuuden jäteliementen osuus sähkön tuotannosta oli 5,07 TWh ja se on tuotettu pääosin soodakattiloilla. (Sähkön hankinta energialähteittäin, 2012; Suomen virallinen tilasto (SVT): Sähkön ja lämmön tuotanto [verkkojulkaisu], 2011)



Kuva 2.1. Sähkön hankinta energialähteittäin Suomessa vuonna 2011 (Sähkön hankinta energialähteittäin, 2012).

Kuvassa 2.1 sähkön erillistuotanto vastaa tavallisella lauhdutusvoimalaitoksella tuotettua sähköä. Sähkön erillistuotannossa lämpöenergiaa ei hyödynnetä voimalaitoksen ulkopuolella, vaan voimalaitos tuottaa ainoastaan sähköä. Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa (CHP, Combined Heat and Power), jota kaukolämpövoimalaitokset ja teollisuuden vastapainevoimalaitokset edustavat, tuotetaan sähkön lisäksi lämpöä. Tätä lämpöä voidaan käyttää kaukolämpöverkossa tai teollisuuden prosessien lämmittämiseen. Metson toimittamat kattilalaitokset ovat yleensä osa CHP-voimalaitosta.

Syyt erilaisiin voimalaitostyyppeihin ovat taloudelliset. Perusvoimaa kannattaa tuottaa käyttäen mahdollisimman edullista polttoainetta ja säätövoimaa, joka on suurimman osan ajasta reservissä, voidaan tuottaa kalliimmallakin polttoaineella, jos voimalaitosinvestointi on pienempi. (Huhtinen et al. 1994, s. 8)

2.1.1 Tavallinen lauhdutusvoimalaitos

Tässä yhteydessä tavallisella lauhdutusvoimalaitoksella tarkoitetaan lauhdutusvoimalaitoksia, jotka eivät hyödynnä ydinenergiaa eli ydinvoimalaitokset eivät ole tässä kategoriassa mukana. Tavallisen lauhdutusvoimalaitoksen kokonaishyötysuhde on heikko, koska se tuottaa vain sähköä, eikä syntyvää lämpöenergiaa päästä hyödyntämään optimaalisesti. Kokonaishyötysuhdetta voitaisiin parantaa tuottamalla sähkön lisäksi läm-

pöä, jota voidaan käyttää kaukolämpönä tai prosessilämpönä. (Huhtinen et al. 1994, s. 10-11)

Tavallisessa lauhdutusvoimalaitoksessa vesi tulee kattilaan, jossa se ensin höyrystyy, minkä jälkeen höyryä lämmitetään lisää eli tulistetaan. Vasta tulistamisen jälkeen höyry johdetaan turbiiniin, jossa se paisuu. Paisunnan yhteydessä höyryn paine ja lämpötila laskevat. Turbiinissa osa höyryn lämpöenergiasta muuttuu mekaaniseksi energiaksi, jonka avulla pyöritetään generaattoria. Generaattori puolestaan muuntaa mekaanisen energian sähköenergiaksi. Turbiinin jälkeen seuraava vaihe prosessissa on höyryn muuttaminen jälleen vedeksi, mikä tapahtuu lauhduttimessa. Lauhduttimelta vesi pumpataan edelleen syöttövesisäiliöön, mistä kierto alkaa alusta. (Huhtinen et al. 1994, s. 10-11)

2.1.2 Kaukolämpövoimalaitos

Kaukolämpövoimalaitoksia käytetään sähkön ja lämmön yhteistuotantoon. Jos tuotetaan vain kaukolämpöä, niin käytetään yleensä nimitystä lämpökeskus. Suurin osa kaukolämmöstä tuotetaan yhteistuotannolla, teollisuuden ylijäämälämpönä tai polttamalla kaatopaikan biokaasuja. Lämpökeskuksia käytetään lähinnä pienillä paikkakunnilla sekä huippu- ja varateholämpönä takaamaan verkon toimintavarmuus. (Kaukolämmön toimintaperiaate, 2013; Kaukolämmön historiaa Helsingissä, 2013)

Kaukolämpövoimalaitos eroa tavallisesta lauhdutusvoimalaitoksesta siten, että lauhduttimessa käytettävä jäähdytysvesi hyödynnetään kaukolämpöverkossa olevien rakennusten lämmittämiseen. Kaukolämpövoimalassa voidaan päästä jopa noin 90 %:n kokonaishyötysuhteeseen, kun taas tavallisen lauhdutusvoimalaitoksen hyötysuhde on noin 40 %:a. Vaikka kokonaishyötysuhde on kaukolämpövoimalassa parempi, niin sähköteho on kaukolämpövoimalassa kuitenkin noin 10 % pienempi kuin vastaavassa lauhdevoimalassa. Tämä johtuu turbiinin jälkeisestä suuremmasta vastapaineesta, joka heikentää sähkön tuotannon hyötysuhdetta verrattuna tavalliseen lauhdutusvoimalaitokseen. Turbiinin jälkeisessä kaukolämpövettä kuumentavassa lämmönsiirtimessä vallitsee yleensä korkeampi paine kuin tavallisessa lauhduttimessa, vastapaine riippuu kaukolämpöveden tarvittavasta lämpötilasta (120 °C - 50 °C). (Huhtinen et al. 1994, s. 14)

2.1.3 Teollisuuden vastapainevoimalaitos

Höyryn avulla pystytään kuljettamaan suuria määriä lämpöenergiaa helposti ja höyryllä on myös hyvät lämmönsiirto-ominaisuudet, minkä ansiosta se soveltuu hyvin teollisuusprosessien lämmittämiseen. Teollisuuden vastapainevoimalaitosten yhteyteen on rakennettu myös sähkövoimala, koska tarvittava lisäinvestointi on suhteellisen pieni ja kannattava. (Huhtinen et al. 1994, s. 14)

Jos teollisuusprosessissa tarvitaan erilämpöisiä höyryjä, niin höyryä voidaan ottaa turbiinin välitotosta. Teollisuusprosesseissa tarvitaan yleensä korkeampia lämpötiloja kuin kaukolämmön tuotannossa, joten turbiinin jälkeinen vastapaine on suurempi. Tästä syystä sähköntuotannon osuus voi olla pienempi kuin kaukolämpövoimalaitoksessa, mutta se ei ole ongelma, koska teollisuuden vastapainevoimalaitoksen ensisijainen teh-

tävä on tuottaa prosessilämpöä ja vasta toissijainen tehtävä on tuottaa sähköä. (Huhtinen et al. 1994, s. 15)

2.2 Kattiloiden vesihöyrypiiri

2.2.1 Luonnonkiertokattilat

Luonnonkiertokattilassa höyrystyvä vesi virtaa kattilan nousuputkissa ylöspäin ilman pumppaamista, koska veden tiheys pienenee sen kuumentuessa höyrystinputkistossa ja laskuputkistossa virtaavan veden tiheys on suurempi. Tästä johtuu nimi luonnonkiertokattila verrattuna pakkokiertokattilaan, jossa joudutaan käyttämään pumppuja höyrystyvän veden nostamiseen. Luonnonkiertokattilassa syöttövesi tulee syöttövesipumpuille syöttövesisäiliöstä, jonka jälkeen se johdetaan syöttöveden esilämmittimeen (ekonomaiseri), joka on yleensä savukaasulämmitteinen ja sieltä edelleen lieriöön. Lieriöstä vesi johdetaan vedenlaskuputkia pitkin höyrystinputkien alapäähän. Lieriön yläosaan höyrystinputkilta tulevasta vesihöyrystä erotetaan vesipisarat ja kuiva höyry johdetaan tulistimille, joissa sitä kuumennetaan edelleen. Mahdollisesti useassa eri vaiheessa tulistettu höyry johdetaan lopulta turbiinille. (Huhtinen et al. 1994, s. 105)

Luonnonkierto perustuu kattilan laskuputkissa olevan veden sekä höyrystinputkissa olevan veden ja höyryn sekoituksen tiheyseroon. Laskuputkissa olevan vesipatsaan aiheuttama paine on suurempi kuin höyrystinputkiston veden ja höyryn sekoituksen vastapaine, mikä mahdollistaa pumputtoman luonnonkierron. Kuitenkin 221 baarin paineessa veden ja höyryn tiheys on yhtä suuri, jolloin luonnonkierto ei ole mahdollinen. Tätä painetta kutsutaan kriittiseksi paineeksi. Toimiva luonnonkierto edellyttää riittävän suurta tiheyseroa, joten toimivassa luonnonkiertokattilan vesihöyrypiirissä paine on yleensä alle 170 baaria, jolloin vesi on noin 5 kertaa tiheämpää kuin höyry. (Huhtinen et al. 1994, s. 106)

Laskuputkistossa virtaavan vesivirran suhdetta höyrystyvään vesivirtaan (lieriöstä tulistimelle virtaavaan) kutsutaan kiertoluvuksi, joka vaihtelee luonnonkiertokattiloissa painetason mukaan välillä 5-100. Koska massavirta laskuputkistossa on yhtä suuri kuin höyrystinputkistossa, niin suhdeluku kuvaa käytännössä kiertävän massavirran suhdetta kierrosta pois lähtevään massavirtaan. Mitä korkeampi paine, sitä pienempi kiertoluku eli korkeapaineisessa kattilassa höyryä virtaa höyrystinputkistossa suhteellisesti enemmän. Höyryä tarvitaan suhteellisesti enemmän, koska korkeapainekattilassa veden ja höyryn tiheysero on pienempi. (Huhtinen et al. 1994, s. 107)

Höyrystinputkilta lieriölle tulevan höyryn ja veden seoksesta on erotettava vesipisarat mahdollisimman tehokkaasti ennen kuin höyry voidaan johtaa tulistimille ja siitä edelleen turbiinille. Erottamiseen käytetyt syklonit ovat kattilan yläpuolella sijaitsevan lieriön sisäpuolella. Vesipisaroissa on liuenneena suoloja, jotka olisivat haitallisia tulistimille ja turbiinille, koska suolat voivat muodostaa kerrostumia tulistimien ja turbiinin pinnoille. Erottaminen tapahtuu hyödyntämällä tiheyseroa. Tehokkaan erottumisen edellytyksenä on, että lieriö on riittävän suuri ja höyrystinputkilta tulevan virtauksen on oltava

tasaista. Käytännössä suurempi lieriö tarkoittaa pidempää höyryn virtausmatkaa ja aikaa. (Huhtinen et al. 1994, s. 109)

Rakenteellisesti lieriön vedenerotuksen toiminta voi perustua esimerkiksi ohjauslevyihin tai nykyisin yleisemmin sykloneihin. Sykloneiden haittapuolena on suurempi painehäviö, mutta niiden tehokkuus kompensoi tätä haittaa. Yhdessä rinnankytkettyjen sykloneiden kanssa voidaan käyttää myös levymäisiä pisananerottimia. (Huhtinen et al. 1994, s. 109)

2.3 Tulipesärakenteet

Hyvän hyötysuhteen saavuttamiseksi kaiken tulipesään syötetyn polttoaineen täydellinen palaminen on tärkeää. Ilmaa ei myöskään saisi jäädä yli eli sitä pitäisi syöttää vain sen verran kuin on prosessin kannalta tarpeellista. Se ei kuitenkaan tarkoita, että kaiken hapen pitäisi palaa, vaan ilmansyötön määrä optimoidaan palamisen tehokkuuden kannalta. (Huhtinen et al. 1994, s. 119)

Kirjassa Höyrykattilatekniikka (Huhtinen et al. 1994) tulipesä määritellään seuraavasti: ”tulipesäksi nimitetään kattilan liekkiä/liekkejä ympäröivää kattilan osaa, jossa polttoaine palaa.” (Huhtinen et al. 1994, s. 119) Kattilaan tulipesään liittyvät suoraan myös erilaisten polttoaineiden polttamiseen käytetyt polttolaitteet ja höyrystinputkisto. Erilaisia tulipesärakenteita on muun muassa öljy- ja kaasukattiloille, pölypoltolle, arinapoltolle, leijupoltolle, prosessikattiloille sekä paineistetulle poltolle ja kaasutukselle. Prosessikattilalla tarkoitetaan kattilaa, jossa poltetaan jonkin prosessin yhteydessä syntyvää ainetta, kuten lipeää, josta otetaan talteen keittokemikaalit ja orgaanisen aineksen sisältämä energia. (Huhtinen et al. 1994, s. 119)

2.3.1 Leijukattilat

Leijukattiloita on kahta eri tyyppiä: kerrosleijukattiloita (BFB, Bubbling Fluidized Bed) ja kierto-leijukattiloita (CFB, Circulating Fluidized Bed). Leijukattiloita on kehitetty vastaamaan kiristyviin päästörajoihin, erityisesti rikinoksidien ja typenoksidien osalta. Tavoitteisiin päästään rajoittamalla polttolämpötilaa, joka vähentää typenoksidipäästöjä ja lisäämällä kalkkia suoraan kattilaan. Vaikka polttolämpötila on kierto-leijukattiloissa alhaisempi kuin muissa kattilatyypeissä, niin palaminen on silti tehokasta, koska palamisaikaa ja turbulenssin määrää on onnistuttu kasvattamaan. (Rayaprolu 2009, s. 505)

Leijukattiloiden yleistymiseen kehittyneillä markkinoilla on vaikuttanut erityisesti tiukentunut sääntely. Toisaalta kehittyvillä markkinoilla syynä on osaltaan ollut huonompi-laatuinen hiili, jonka tehokas käyttö vaatii parempaa teknologiaa. Rayaprolun (2009) mukaan kerrosleijukattiloiden etuja ovat muun muassa kyky polttaa lähes mitä polttoainetta vain, mahdollisuus käyttää useita eri polttoaineita, korkea hyötysuhde, rikki- ja tyyppipäästöjen vähyys ja hyvä vaste kuormanvaihteluihin. (Rayaprolu 2009, s. 505-513)

Kiertoleijukattilat

Kiertoleijukattilan toiminta on monelta osin samanlaista kuin kerrosleijukattilan. Molemmissa käytetään hiekkaa parantamaan lämmönsiirtoa palavasta polttoaineesta kattilaan syötettävään polttoaineeseen. Myös leijutusilmiön aikaansaava ilmansyöttö tapahtuu molemmissa tulipesän alapuolelta. Kiertoleijukattilassa ilmansyöttö tapahtuu kuitenkin suuremmalla nopeudella kuin kerrosleijukattilassa, koska tarkoituksena on saada hiekka kiertämään kattilassa. (Huhtinen et al. 1994)

Kiertoleijukattilassa leijutukseen käytetyn hiekan raekoko on pienempi kuin kerrosleijukattilassa, tyypillinen raekoko on 0,1-0,5 mm. Vastaavasti leijutusnopeus on taas suurempi kuin kerrosleijukattilassa, tyypillisesti 3-10 m/s. Näillä arvoilla hiekka saadaan kiertämään tulipesästä sykloneille ja sieltä edelleen syklonien alapuoliselle hiekkalukolle, josta se palautetaan takaisin tulipesään. Sykloneilla erotetaan raskaampi hiekka lentotuhkaa sisältävistä savukaasuista hyödyntäen aineiden tiheyseroa. Syklonilta savukaasut jatkavat matkaansa lentotuhkan erotukseen ja lopulta ne poistuvat puhdistuksen jälkeen voimalaitoksen savupiipusta. (Huhtinen et al. 1994, s. 145-149)

Kiertoleijukattilassa ei ole erotettavissa selvää hiekkakerroksen ja savukaasujen välistä rajapintaa, vaan hiekkapetin tiheys pienenee siirryttäessä tulipesässä ylöspäin. Käytettyä hiekasta ja leijutusnopeudesta johtuen tulipesässä oleva materiaali pyörteilee voimakkaasti, jolloin sekoittuminen on tehokasta. Tehokas sekoittuminen edesauttaa polttoaineen palamista, mikä mahdollistaa muilla menetelmillä hankalasti poltettavien polttoainesten polttamisen. (Huhtinen et al. 1994)

Kiertoleijukattilan tulipesän muotoon vaikuttaa eniten syklonien määrä, jos sykloneita on useampia, niin syklonien puoleinen seinä on leveä. Tästä syystä tulipesä on yleensä suorakaiteen muotoinen ja tulipesän sisällä saattaa olla väliseiniä, jos käytössä on useita sykloneita. Väliseinät eivät välttämättä ole koko kattilan korkuisia. (Huhtinen et al. 1994)

Alhaalta päin syötettävän leijutusilman eli primääri-ilman lisäksi tulipesään tuodaan palamisilmaa myös arinan yläpuolelta eri korkeuksilta. Arinan yläpuolelta syötettävää ilmaa kutsutaan sekundääri-ilmaksi. Sekundääri-ilman säätöalue on laaja, syöttömäärä voi olla minimissään vain 15 % täydestä tehosta. Primääri-ilman säätöalue ei ole yhtä laaja, koska ilmaa on aina syötettävä vähintään sen verran, että minimileijutusnopeus ylitetään. Käytännössä tehoalue on välillä 50-100 %. Myös koko kattilan tehon säätöalue on suurehko, kattilaa voidaan käyttää minimissään noin 30 %:n teholla. (Huhtinen et al. 1994, s. 148-149)

2.4 Lämmönsiirtimet

Lämmönsiirtimien tehtävänä on muun muassa ottaa talteen polttoprosessissa syntyvä lämpö mahdollisimman tehokkaasti. Lämmönsiirtimillä lämmitetään tai jäähdytetään vettä, höyryä ja ilmaa. Vettä lämmitetään vedenesilämmittimellä (EKO, ekonomaiseri) ja höyrystinputkistossa, tämän jälkeen höyryä tulistetaan useammassa eri vaiheessa en-

nen sen johtamista turbiinille. Hyötysuhteen parantamiseksi myös ilmaa voidaan lämmittää ilmanesilämmittimellä. (Huhtinen et al. 1994, s. 169)

Lämmönsiirtimien sijoittelua ohjaa sekä hyötysuhteen optimointi että materiaalitekniset rajoitukset. Hyötysuhteen kannalta tulipesän lämpötilan kannattaisi olla mahdollisimman korkea ja savukaasujen mahdollisimman matala. Käytännössä esimerkiksi materiaalien korroosionkesto, virumisenkesto ja lujuus korkeissa lämpötiloissa rajoittavat hyötysuhteen parantamista. (Huhtinen et al. 1994)

2.4.1 Keittoputkisto

Keittoputkistoon eli höyrystinputkistoon tuodaan vettä tai vesi-höyryseosta syöttöveden esilämmittimeltä. Paineesta riippuen veden höyrystymislämpötila on välillä 179-374 °C, kun paine on 10-221 baaria. Kattilalaitoksen prosessista riippuen vesi saattaa olla jo osin höyrystynyttä, kun se tuodaan keittoputkistoon. (Huhtinen et al. 1994, s. 169-173)

Lämmönsiirtyminen on tehokkainta keittoputkistossa, koska lämpö siirtyy tehokkaammin, kun lämpötilaero on suuri ja lisäksi osa vedestä on keittoputkistossa nesteenä, mikä edistää lämmön siirtymistä. Keittoputkiston materiaalina voidaan käyttää tavallista hiili-terästä, koska sen materiaaliominaisuudet ovat riittävät sallituissa lämpötiloissa. Tulipesä vuorataan yleensä korroosiolta ja eroosiolta suojaavalla materiaalilla, kun kysymyksessä on leijupoltto, koska hiekka kuluttaisi putkia nopeasti, jos niitä ei suojattaisi mitenkään. (Huhtinen et al. 1994, s. 169-173)

Kattilan tuentaan on olemassa kaksi eri periaatteellista tapaa: altatuenta ja ripustaminen. Alapuolelta tuettu kattila laajenee ylöspäin, kun se lämpenee ja ripustettu kattila alaspäin. Molemmat kattilan tuentatavat tarvitsevat vielä lisäksi tukia kattilan sivuseinille. Kattilan liike on otettava huomioon siihen liittyviä järjestelmiä suunniteltaessa. (Huhtinen et al. 1994, s. 169-173)

2.4.2 Tulistimet

Tulistimien tarkoituksena on kuumentaa eli tulistaa höyryä keittoputkiston höyrystymisen jälkeen. Hyötysuhteen kannalta höyry olisi hyvä kuumentaa mahdollisimman kuumaksi, mutta putkiston ja turbiinin materiaalitekniset rajoitukset estävät teoreettisesti mahdollisten lämpötilojen saavuttamisen kustannustehokkaasti. Käytännössä tulistetun höyryn loppulämpötila on maksimissaan noin 550 °C. (Huhtinen et al. 1994, s. 173-179)

Tulistimia on olemassa rakenteellisesti erilaisia ja ne myös sijaitsevat kattilan eri osissa. Toimintansa mukaisesti tulistimet voidaan jakaa säteily-, verho-, konvektio- ja yhdistelmätulistimiin. Rakenteellisesti tulistin voi olla yksinkertaisimmillaan joukko putkia, joiden läpi savukaasut johdetaan. Tulistinputkien kannatusta suunniteltaessa on otettava erityisesti huomioon lämpölaajeneminen ja kannattimien kestävyys kuumissa olosuhteissa. (Huhtinen et al. 1994, s. 173-179)

2.4.3 Syöttöveden esilämmittimet

Kattilalaitoksissa syöttöveden esilämmittimien sijoittaminen palokaasujen ulostulon yhteyteen on yleinen, mutta ei ainoa mahdollinen tapa. Suuressa kattilalaitoksessa syöttöveden esilämmittimet ja ilmanesilämmittimet saattavat muodostaa jopa 50 % lämpöpinnoista, mutta ne voivat silti kerätä vain 15 % kokonaisenergiasta. Lämmönvaihtimet, jotka ottavat talteen lämpöä suhteellisen matalalämpöisistä palokaasuista joudutaan mitoittamaan sitä suuremmiksi, mitä viileämpiä palokaasut ovat. (Frayne 2002, s. 17-18)

Syöttöveden esilämmittimet voidaan mitoittaa toimimaan siten, että vesi ei ala höyrystyä esilämmittimessä tai vaihtoehtoisesti osan vedestä voidaan antaa höyrystyä. Jos veden ei ole tarkoitus höyrystyä vielä syöttöveden esilämmittimessä, niin turvallinen lämpötilaero kiehumispisteeseen on luokkaa 20 °C. Tulistimien läpi kulkeneiden savukaasujen lämpötila saattaa olla kattilatyypistä riippuen vielä maksimissaan 600-800 °C, joten hyötysuhteen parantamisen kannalta niistä on järkevää ottaa enemmän lämpöä talteen. Syöttövettä voidaan lämmittää ennen savukaasulämmitteisiä lämmönvaihtimia käyttämällä turbiinin väliottohöyryä, jolloin syöttöveden tullessa savukaasukanavassa sijaitsevaan esilämmittimeen sen lämpötila saattaa olla jo 100-250 °C. (Huhtinen et al. 1994, s.179-180)

Esilämmittimissä yleisesti käytettyjä rakenteita ovat valurautainen komppoundputki, teräsriivoitettu teräsputki, segmentoitu spiraaliripaputki ja alumiinirivoitettu teräsputki. Yleisimmin käytetty materiaali on tavallinen hiiliteräs. Kuitenkin myös sileitä teräsputkia käytetään, koska jos palokaasut sisältävät paljon lentotuhkaa, niin sitä kertyy ripoihin ja ne ovat vaikeita puhdistaa. (Huhtinen et al. 1994, s.179-180)

2.4.4 Ilmanesilämmittimet

Ilmanesilämmittimiä (LUVO, Luftvorwärmer) koskevat osittain samat tekniset ongelmat kuin syöttöveden esilämmittimiäkin. Ne sijoitetaan yleensä kattilalaitoksen sellaiseen osaan, jossa palokaasut ovat jo suhteellisen viileitä, joten niiden lämpöpintojen täytyy olla suuria. Ilmanesilämmittimet eivät saisi kerätä savukaasuista niin paljoa lämpöä, että savukaasujen lämpötila laskee alle jonkin syövyttävän yhdisteen kastepisteen. Esimerkiksi rikkipitoista polttoainetta käytettäessä voi palokaasuja kylmemmille pinnoille tiivistyä rikkihappoa, jos rikkihapon kastepiste alitetaan. (Frayne 2002, s. 17-18)

Toiminnallisesti ilmanesilämmittimet voidaan jakaa rekuperatiivisiin ilmanesilämmittimiin sekä regeneratiivisiin ilmanesilämmittimiin. Regeneratiivisen ilmanesilämmittimen toiminta voi perustua esimerkiksi pyörivään kennostoon, jonka yksittäinen kenno on vuorotellen savukaasu- ja ilmanakanavassa. Savukaasukanavassa kenno lämpenee, jonka jälkeen se luovuttaa lämpöä ilmanakanavassa. Rakenne on monimutkainen ja vaatii säännöllistä huoltoa, mutta se on kompaktimpi kuin rekuperatiivinen ilmanesilämmitin. Rekuperatiivinen ilmanesilämmitin on rakenteeltaan yksinkertaisempi, koska siinä ei ole liikkuvia osia, mutta lämmönvaihtimien pinnat ovat suuret. Lämmönvaihtimen toiminta perustuu lämmön siirtymiseen savukaasuista putken seinämän läpi sen sisällä virtaavaan ilmaan. (Rayaprolu 2009, s. 253-265)

Vaihtoehtoisesti kattilalaitoksissa voidaan käyttää höyryluvoja, joissa ilmakehässä sijaitsevaa lämmönvaihdinta lämmitetään höyryllä. Höyryluvo saa lämmitysenergiansa joko turbiinin välitoltta tulevasta höyrystä tai joskus kuumasta vedestä. Höyryluvoja käytetään, ettei savukaasukanavassa sijaitseva ilmanesilämmitin laskisi savukaasujen lämpötilaa alle kastepisteen. (Huhtinen et al. 1994, s.180-185)

Rekuperatiivisten ilman esilämmittimien putkia rakennetaan teräksestä, valuraudasta ja lasista. Jos kastepisteen alittuminen on todennäköistä, niin luvossa voidaan käyttää lasisia putkia, jotka kestävät paremmin rikkihappopitoista vettä. Valurautakin kestää rikkihapon syövyttävää vaikutusta paremmin kuin tavallinen hiiliteräs. (Huhtinen et al. 1994, s.180-185)

2.5 Vesihöyrypiirin oheislaitteet

Vesihöyrypiirissä on oheislaitteina pumppuja, venttiileitä ja lauhteenpoistimia. Vesi-pumppua mitoitettaessa oleelliset suuret ovat haluttu virtaus ja paine sekä imupuolen paine. Imupuolen paineen pitää olla riittävän suuri, jottei pumppu kavitoisi. Riittävä imupuolen paine voidaan varmistaa sijoittamalla syöttövesitankki oikealle korkeudelle. Suurimmassa osassa kattilalaitoksia syöttövesipumput ovat sähkömoottorikäyttöisiä. Pumput voivat olla esimerkiksi yksivaiheisia tai monivaiheisia keskipakopumppuja. Joissain tapauksissa käytetään myös käyttövoimansa höyrystä saavia pumppuja. (Frayne 2002, s. 88; Huhtinen et al. 1994, s. 204-206)

Lauhteenpoistimet poistavat höyrystä kondensoitunutta vettä. Huonosti toimivat lauhteenpoistimet johtavat voimalaitoksen hyötysuhteen laskemiseen ja paineiskuihin, kun vettä kerääntyy lämmönvaihtimiin ja putkistoon. Paineiskut voivat pahimmassa tapauksessa johtaa putkien repeämiseen. (Frayne 2002, s. 91)

Vesihöyrypiirissä on erityyppisiä venttiileitä eri tarkoituksiin. Sulkuventtiilien avulla voidaan estää aineen virtaaminen putkiston johonkin osaan. Myös takaisiniskuventtiilit lasketaan sulkuventtiileiksi ja nimensä mukaisesti niiden tarkoitus on estää aineen virtaus ei-haluttuun suuntaan. Sulkuventtiilien lisäksi kattilalaitoksessa on säätöventtiilejä, joiden pääasiallinen tehtävä säädellä virtauksien suuruutta ja laskea painetta. Suurten paineiden ja massavirtojen sekä virtaavien aineiden lämpötilojen takia kattilalaitoksissa on aina varoventtiileitä. Varoventtiilien tehtävänä on estää liian suuren paineen syntyminen putkistoon tai säiliöihin. Rakenteellisesti varoventtiileitä on jousikuormitteisia, painokuormitteisia ja apuohjattuja. Apuohjattuja varoventtiileitä käytetään järjestelmissä, joissa paineet ovat suuria. Apuohjattua venttiiliä pitää kiinniasennossa sekä jousikuormitus että kuormitusilman paine. Putkiston paineen noustessa liian suureksi ohjausyksikkö voi ohjata kuormitusilman männän toiselle puolelle, jolloin se tehostaa venttiilin avautumista. (Huhtinen et al. 1994, s. 212-220)

Ulospuhallussäiliö sijaitsee yleensä alimpana osana lauhteenkeräysjärjestelmässä. Sen tehtävänä on kerätä lauhdetta eli tiivistynyttä vettä, joka johdetaan sinne lauhteenpoistimilta ja muilta järjestelmiltä, joihin vettä kertyy. Ulospuhallussäiliöstä on yhteys esimerkiksi kattilalaitoksen katolle (hönkäputki), jotta liian suuren paineen syntyminen

tankkiin voidaan estää. Ideaalitilanteessa tiivistynyt vesi palautetaan kiertoon puhdistetuna. (Frayne 2002, s. 98)

2.6 Ilma- ja savukaasupiiri

Palamisprosessi vaatii toimiakseen ilmaa ja se synnyttää savukaasuja, jotka on johdettava pois prosessista. Näitä tehtäviä varten kattilalaitoksissa on ilma- ja savukaasupiiri. Kaikissa kanavissa virtaaville kaasuille on saatava aikaiseksi riittävä virtausnopeus ja paine. Leiju- tai kiertoleijukattilassa palamiseen tarvittava ilma tuodaan kattilaan sekä kattilan alapuolelta että sivuilta. Alapuolelta tuotavan ilman nopeus ei saa olla liian pieni, ettei minimileijutusnopeus alitu. (Huhtinen et al. 1994, s. 223)

Puhaltimia ja niitä pyörittäviä moottoreita suunniteltaessa on otettava huomioon ympäristön lämpötilamuutokset. Kattilalaitoksen sijainnista riippuen ulkolämpötila voi vaihdella jopa välillä $-40 \dots +35$ °C. Ilmankosteuden vaihtelun merkitys on vähäisempi, mutta korkeudella merenpinnasta on huomattava vaikutus mitoitukseen. (Rayaprolu 2009, s. 15-16)

Ilma- ja savukaasuja liikutetaan kuten nesteitäkin, mutta pumppujen sijaan käytetään puhaltimia. Lisäksi putkien sijaan käytetään yleensä kanavia, koska paineet eivät ole suuria ja painehäviöt halutaan minimoida. Savukaasujen on virrattava kanavissa riittäväällä nopeudella, jotta savukaasujen seassa oleva kiinteä materiaali ei sedimentoidu kanaviin. Huhtisen (1992) mukaan riittävä nopeus on vähintään 8-10 m/s. Toisaalta savukaasuja ei kannata puhaltaa liian suurella nopeudella, koska häviöt kasvavat virtausnopeuden kasvaessa. Koska puhallettavien kaasujen nopeutta ei voi kasvattaa rajattomasti, mutta kanavan on kuitenkin kyettävä kuljettamaan riittävä massavirta, niin ainoksi vaihtoehdoksi jää kanavan koon kasvattaminen. Kanavan kokoa kasvattamalla häviöt pienenevät ja samaa virtausnopeutta käytettäessä massavirta kasvaa. Virtaushäviöitä minimoitaessa pätevät samat säännöt kuin putkistosuunnittelussa. Suunnittelijan on syytä välttää jyrkkiä mutkia, kanavan pinta-alan vaihtelua ja käyttää lyhintä mahdollista reittiä. (Huhtinen et al. 1994, s. 223)

Puhaltimet ovat kattilalaitoksen kannalta erityisen tärkeitä, koska ne vaikuttavat suorituskyykyyn, omakäyttötehoon ja prosessin dynamiikan hallintaan. Omakäyttöteho on kattilalaitoksen itse kuluttama osuus tuotetusta sähkötehosta. Kattilalaitoksissa käytetään yleisesti keskipakopuhaltimia ja aksiaalipuhaltimia. Aksiaalipuhaltimet ovat kaltevia ja vikaherkempiä, mutta niillä on parempi hyötysuhde laajalla käyttöalueella. Puhaltimen mitoitukseen vaikuttaa vaadittava paine-ero sekä haluttu pyörimisnopeus ja turvamarginaali. (Rayaprolu 2009, s. 301-378)

Kattilalaitoksen savukaasut kulkevat kattilasta lämmönvaihtimien kautta savukaasujen puhdistukseen. Suomessa toimivien kattilalaitosten on noudatettava suomalaisia päästörajoja. Savukaasuja voidaan puhdistaa muun muassa pölynerotusmenetelmillä, rikinpoistomenetelmillä ja typen oksidien poistomenetelmillä. Pölynerotusmenetelmillä savukaasuista puhdistetaan kiinteitä epäpuhtauksia. Tähän voidaan käyttää sähkösuodattimia, erilaisia dynaamisia erottimia, letkusuodattimia ja savukaasupesureita. Rikinpois-

tomenetelmiä ovat muuan muassa märkämenetelmä, puolikuivat menetelmät, kuivat menetelmät ja regeneratiivinen menetelmä. Typen poistoon on kehitetty esimerkiksi katalyyttinen menetelmä ja katalyytitön kerrosleijumenetelmä, jossa typen oksideja pelkistetään jo kattilan tulipesässä. (Huhtinen et al. 1994, s. 223-242)

Savukaasujen puhdistuksen jälkeen savukaasut puhalletaan piipusta ulos. Piipun mitoituksessa on otettava huomioon savukaasujen riittävä nopeus ja veto sekä savukaasujen riittävä laimeneminen. Laimenemisella tarkoitetaan, että päästöt leviävät riittävän suuralle alueelle, jolloin niistä ei ole niin suurta haittaa voimalaitoksen välittömässä läheisyydessä asuville ihmisille. (Huhtinen et al. 1994, s. 229)

3 LAITOSSUUNNITTELU

3.1 Layout-suunnittelu

Kirjan Piping Handbook 7th Edition mukaan projektin alkuvaiheen aikainen suunnittelu on tärkeää, koska esisuunnittelun avulla voidaan säästää tilaa. Kalliiden putkilinjojen kustannukset on otettava huomioon jo tässä vaiheessa ja ne on suunniteltava mahdollisimman lyhyiksi, mutta kuitenkin riittävän joustaviksi. Yksityiskohtaista suunnittelua ei kirjan mukaan kannata aloittaa ennen kuin yleisemmät putkistosuunnitelmat ovat valmiina, koska muutosten alaisten yksityiskohtien suunnittelu voi johtaa käytettyjen työtuntien menettämiseen. (Nayyar 2000, s. B78)

Nayyarin (2000) mukaan putkiston layout-suunnittelu on putkiston mitoitettua reititystä pisteestä toiseen huomioiden samalla putkiston haarat, venttiilit ja instrumentointi, kuten ne on PI-kaavioissa ilmaistu. Kirjoittajan mukaan väittämä on yksinkertaistettu, koska monia muitakin tekijöitä on otettava huomioon. Esimerkiksi putkiston joustavuus, materiaalikustannukset, putkiston kannatus, laitoksen käytön vaatimukset, huollon vaatimukset ja turvallisuus sekä asennettavuus on otettava huomioon putkiston layouttia suunniteltaessa. (Nayyar 2000, s. B78)

Kirjan Piping Handbook 7th Edition mukaan useimmissa projekteissa laitoksen omistajalla on projektikohtaisia vaatimuksia. Ne sisältävät yleensä määräyksiä ja standardeja tiukempia ohjeita, joilla voi olla suoraan vaikutusta putkiston layouttiin tai laitteiden sijoitukseen. Usein vaatimukset perustuvat vastaavanlaisen laitoksen operoinnista saatuu kokemukseen ja vaatimukset voidaan myös kirjata sopimukseen. Vaikka laitoksen tilaajalla ei usein ole kokemusta putkiston suunnittelusta, niin he tuntevat kuitenkin valmiin tuotteen. Kirjan mukaan on erittäin tärkeää, että suunnittelijat ymmärtävät asiakkaan vaatimukset. (Nayyar 2000, s. B76)

Kirjan Process Piping Design Handbook, Volume 2 – Advanced Piping Design mukaan putkiston layoutissa pitäisi suosia yksittäisiä pääväyliä, joista lähtee mahdollisimman vähän sivuhaaroja. Laitteet pitäisi sijoittaa pääväylän läheisyyteen riveihin molemmille puolille, jos mahdollista. Visuaalisesti miellyttävästi suunniteltu laitos, jossa laitteet ovat suorissa riveissä, on kirjan mukaan yleensä taloudellinen ratkaisu. Kirja myös suosittelee välttämään putkien sijoittamista kolmeen eri kerrokseen putkisilloilla, paitsi korkeintaan hyvin lyhyellä matkalla. (Botermans & Smith 2008, s. 1-22)

Esisuunnitteluvaiheessa pitäisi päättää mitkä putkilinjat menevät omaa reittiään ja mitkä putkilinjat käyttävät putkiväyliä. Tässä vaiheessa voi hyödyntää PI-kaavioita ja olemassa olevia tietoja. Myös yleisputkistojen paikoista pitäisi olla jonkinlainen idea jo esisuunnitteluvaiheessa. Yleisputkistot pitävät sisällään muun muassa viemärit, sadevesiputkistot, paineilmalinjat, hätävesiputkistot ja yleiset vesiputkistot. Kirjan mukaan

putkisuunnittelun pitäisi tehdä yhteistyötä sähkösuunnittelun kanssa jo esisuunnitteluvaiheessa, että kaapelihyllyjen tilantarve voitaisiin arvioida jo hyvissä ajoin. (Botermans & Smith 2008, s. 197-217)

Standardien tunteminen on tärkeää, koska standardeissa on määräyksiä, jotka voivat välillisesti vaikuttaa myös putkiston layouttiin. Standardien lisäksi kattilalaitoksen tilaajalla voi olla vaatimuksia, jotka vaikuttavat suoraan putkiston layouttiin. Putkistosuunnittelijan pitäisi reitittää putket siten, että ne ovat riittävän joustavia, mutta silti käytetyn putken ja lämpölaajenemissilmukoiden määrä on mahdollisimman vähäinen. Täysin suoria putkia ei pitäisi käyttää kahden eri laitteen tai kiinteän pisteen välillä, jos putkien lämpölaajeneminen on merkittävää. Kahden kiintopisteen välinen putkisto pitäisi vähintään reitittää L:n muotoon, tarvittaessa voidaan käyttää useampia L:n muotoisia putkiston osuuksia. Jos lämpölaajeneminen tulee olemaan merkittävää, niin voi olla tarpeen sijoittaa kiintopiste putken keskivaiheille, jotta lämpölaajeneminen tapahtuisi molempiin suuntiin. Toisaalta suurihalkaisijaisten putkien tapauksessa putkesta haarautuvat pienemmät haarat voivat olla vaarassa rikkoutua, jos putkiston suunnittelija ei varmista, että haarat ovat riittävän joustavia kestäämään isomman putken lämpölaajenemisesta aiheutuvan liikkeen. (Nayyar 2000, s. B82-83)

Esimerkiksi putkistojen, jotka puhdistetaan höyryllä, on oltava riittävän joustavia, että lämpölaajeneminen ei riko niitä. Ei siis riitä, että putkisto mitoitetetaan normaalien käyttöolosuhteiden mukaan, vaan huomioon on otettava myös ennustettavissa olevat poikkeavat olosuhteet. Myös normaaleissa olosuhteissa kylminä olevat putket, kuten laitteiden ohitusputket, voivat olla suuren jännityksen alaisia, jos rinnakkainen putki lämpölaajenee voimakkaasti käytön aikana. Toisaalta käynnistyksen aikaiset lämpötilat voivat olla suurempia kuin normaalit käytön aikaiset lämpötilat, mikä on otettava huomioon mitoituksessa. (Nayyar 2000, s. B83)

Venttiilien sijoituksessa on huomioitavat, että kulkureiteillä olevat venttiilien kahvat voivat olla vaaraksi työntekijöille, erityisesti jos ne sijaitsevat pään tai jalkojen korkeudella. Käsikäyttöisen venttiilin käsipyörän ympärille pitää jättää vähintään 100 mm tilaa, että käsipyörää voi pyörittää esteettä. Lisäksi käsikäyttöisiä venttiilejä ei saa sijoittaa liian korkealle. Nayyarin mukaan 2 metriä tason tai lattian yläpuolella on maksimikorkeus, jos venttiili pitää sijoittaa korkeammalle, niin pitää harkita ketjukäytön käyttämistä. Ketjukäyttöä suunniteltaessa on huomioitava, että roikkuva ketju voi olla vaaraksi työntekijöille. (Nayyar 2000, s. B85)

Putkiston reititystä suunniteltaessa pitäisi pyrkiä siihen, että venttiilit sijoittuvat hyvälle paikalle ilman ylimääräisiä lenkkejä, kun putkistoa reititetään pisteestä toiseen. Erityisesti pitäisi välttää taskujen syntyminen venttiilien sijoittamisen seurauksena, koska niihin voi kerääntyä esimerkiksi vettä. (Nayyar 2000, s. B85)

Sijoitettaessa venttiilejä putkistoon on huomioitava, että ennen ja jälkeen venttiiliä saat-
taa olla tarvetta suoralle putken osuudelle. Suoran putken pituus määritellään yleensä putken halkaisijan kertaluvulla ja tarvittava pituus riippuu muun muassa venttiilistä ja virtausnopeudesta. Suoran putken osuuden tarkoituksena on vähentää turbulenssia venttiilin tai mittalaitteen kohdalla. Esimerkiksi ennen säätöventtiiliä ja sen jälkeen pitäisi

olla vähintään 3 putken halkaisijaa suoraa putkea, että turbulenssin määrä ei olisi liian suuri. Suora putki helpottaa myös venttiilin irrottamista, kun pulttien irrottamiseen laipasta on riittävästi tilaa. (Nayyar 2000, s. B85)

Prosessilaitteiden sijainteja toisiinsa nähden olisi syytä miettiä huolellisesti, jotta laitos voi toimia turvallisesti ja tehokkaasti. Kun layouttia kehitetään, niin joudutaan usein tekemään kompromisseja, jolloin kannattaa yleensä suosia turvallisempaa vaihtoehtoa. Kirjan Process Piping Design Handbook, Volume 2 – Advanced Piping Design mukaan muun muassa seuraavat asiat kannattaa ottaa huomioon layouttia suunniteltaessa:

- Turvallisuus: tulipalot, räjähdykset, vuodot, pakoreitit henkilöstölle ja reitit palomiehille
- Prosessivirtojen vaatimukset, jotta saavutetaan tehokas laitos
- Rakennettavuus
- Vaarallisia aineita ja vaarattomia aineita sisältävien alueiden erottaminen toisistaan
- Operoitavuus ja huollettavuus
- Käytettävissä oleva tila ja maantieteelliset rajoitukset
- Sijainti toisiin yksikköihin tai laitoksiin nähden
- Taloudellisuus
- Laajennusvara tulevaisuudessa
- Turvallisuus: ulkopuolisten pitäminen poissa laitosalueelta
- Meteorologinen informaatio
- Seisminen data

(Botermans & Smith 2008, s. 2)

Botermans ja Smith (2008) suosittelevat, että laitteet sijoitetaan prosessin määräämään loogiseen järjestykseen. Painovoimaisten putkilinjojen laskut ja pumppujen imupuolen paineet sekä sallitut paine- ja lämpötilahäviöt voivat määrätä joidenkin laitteiden sijoittelun. Jos pumppuja on useita, niin ne pitäisi sijoittaa riveihin ja riittävän lähelle tukirakenteita, joihin pumpuilta lähtevät putket voidaan tukea. (Botermans & Smith 2008, s. 2-3)

Botermans ja Smith (2008) ovat laatineet esimerkiksi seuraavia ohjeita layout-suunnittelua varten:

- Prosessialueen sisäpuolella sijaitsevan putkiston pitäisi ideaalilanteessa sijaita maan päällä, vaikka aina tämä ei olekaan mahdollista, niin maanalaisia putkia on pyrittävä välttämään.
- Painavimmat putket pitäisi sijoittaa mahdollisimman lähelle pystytukia, vaakatuikiin kohdistuvan vääntömomentin minimoimiseksi.
- Tasaista laskua vaativat putket kannattaa sijoittaa pystypalkkeihin kiinnitettyihin ulokepalkkeihin, joiden korkeus pystypalkkiin nähden voi muuttua laskun edellyttämällä tavalla.

- Kavitaation välttämiseksi pumppujen imupuolen putket ovat usein halkaisijaltaan isompia kuin painepuolen putket.
- Kaikille huoltoa vaativille laitteille on oltava esteetön pääsy, tarvittava tila huollon vaatimille nostolaitteille ja riittävästi tilaa vaihdettavien osien irrottamiseen. (Botermans & Smith 2008, s. 2-16)

Yleisesti voidaan sanoa, että huollon kannalta on helpompaa, jos laite ei sijaitse lattialla, vaan on korotettuna esimerkiksi perustuksen avulla. Tukevampi perustus voi muutenkin olla tarpeen, jos kyseessä oleva laite on painava tai siinä on liikkuvia osia, jotka voivat aiheuttaa tärinää. Kesti (1992) kehottaa kirjassaan sijoittamaan huoltoa vaativat laitteet yli 300 mm korkeuteen lattian pinnasta mitattuna. Mitoitusta mietittäessä olisi hyvä selvittää tavallisten huoltotehtävien vaatima tila laitteen valmistajalta. Laitteen asennukseen ja korvaavan laitteen paikalle tuomiseen pitää olla riittävästi tilaa. Myös tiellä olevat putkistot on pystyttävä purkamaan pois tieltä ja tämä olisi tärkeää ottaa huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Suosituksia vapaille tiloille on kerätty taulukkoon 3.1 kirjasta Teollisuusputkistot (Kesti 1992). Taulukkoa luettaessa on otettava huomioon, että annetut arvot ovat ohjeellisia, eivätkä kata kaikkia tapauksia. Suunniteltaessa laitteiden sijoituksia on selvitettävä esimerkiksi huollon vaatima tila tapauskohtaisesti. (Kesti 1992, s. 30-31)

Taulukko 3.1. Vapaan tilan suosituksia (Kesti 1992, s. 35).

Kohde	Vapaa tila (mm)
Työtila laitteen ympärillä yleisesti	800
Työtila pumpun ympärillä	800...1000
Työtila kompressorin ympärillä	1200
Työtila ruuvi siirtimen ympärillä	1000
Kulkutie putkien välissä	800
Kulkutie yleisesti	800
Työtilan vapaa korkeus	
Rakennuksissa	2100...2200
Hoitotasolla	2100
Maanpinnalla	2500 (2200)

Usein laitteen valmistaja on antanut tiukat arvot kuormitukselle, joka saa kohdistua laitteeseen. Laitteeseen, kuten pumppuun, kohdistuvien kuormitusten minimoimiseksi putki olisi tuettava mahdollisimman läheltä pumppua. Toisaalta esimerkiksi suuret venttiilit saattavat kuormittaa putkistoa liikaa, jos niitä ei tueta läheltä niiden kiinnityspistettä putkistoon. Mahdollisuuksien mukaan venttiileitä olisi hyvä koota ryhmiin, jotta niille olisi helpompaa järjestää pääsy hoitotasolta. (Kesti 1992, s. 31)

Säätö- ja ohjausventtiilit ovat kuluvia osia, joiden sijoittamisessa laitokseen on otettava huomioon huollettavuus. Kulunut venttiili pitää olla mahdollista vaihtaa uuteen ilman

kohtuutonta työmäärää. Isot venttiilit voivat olla painavia, jolloin niitä ei voi siirrellä turvallisesti käsivoimin. Jos venttiiliä ei pysty nostamaan käsivoimin, niin sen siirtämiseen tarvitaan sopiva apuväline, kuten talja, vinssi tai nosturi, jonka käyttämiseen on oltava tarpeeksi tilaa. Toisaalta pienenkään venttiilin asentamista ei kannata kohtuuttomasti monimutkaistaa ahtaalla sijoituspaikalla. Kestin (1992) mukaan säätöventtiilin alapuolelle on jätettävä 300 mm tyhjää tilaa tai vähintään 600 mm lattiasta. Tämä tila mahdollistaa useimmiten venttiilipesän tyhjentämisen, mutta todellinen tilantarve on syytä varmistaa valmistajalta, kun venttiilin paikkaa suunnitellaan. (Kesti 1992, s. 32-33)

Varoventtiilin sijoituksessa on otettava huomioon, että mitä varoventtiilillä ollaan suojaamassa (putkea, säiliötä) ja sijoitettava se lähelle suojattavaa kohdetta. Varoventtiilin kannakkeita mitoittaessa on otettava huomioon varoventtiilin avautumisesta aiheutuva ulospuhalluksen reaktiovoima. Varoventtiilin jälkeisten ulospuhallusputkien pitäisi olla mahdollisimman suoria painehäviöiden minimoimiseksi. (Kesti 1992, s. 33)

Päähöyryputken suunnittelussa on erityisesti otettava huomioon kondensoituvan veden poistaminen. Poistamisen kannalta on tärkeää, että putkessa on riittävästi laskua ja alimmassa kohdassa on tyhjennys veden poistamista varten. Laskun suuruuden pitäisi olla vähintään prosentin luokkaa ja putken pitäisi laskea virtaussuuntaan. Tyhjennysputkien on oltava halkaisijaltaan riittävän suurta, eikä päähöyryn tyhjennysputkia tulisi yhdistää muihin putkiin. Päähöyryputki pitää pystyä tyhjentämään kokonaan vedestä sekä sen ollessa kuumana että kylmänä. (Nayyar 2000, s. B94)

Kondensoituva vesi on otettava huomioon myös paineilmajärjestelmien suunnittelussa. Ilman on oltava käyttötarkoitukseen riittävän puhdasta ja kuivaa. Veden kondensoitumista voidaan vähentää ilman kuivaamiseen tarkoitetuilla laitteilla, mutta putkiston suunnittelussa on varauduttava myös siihen, että putkistoon voi kertyä vettä. Erityisesti on estettävä veden valuminen kompressorille. Paineilmatankki voi estää veden valumisen kompressorille, jos se on riittävän lähellä ja kompressorin painepuolen putki liittyy siihen riittävän korkealle, jotta vesi jää tankin pohjalle. Paineilmatankilta lähtevän putkiston pitäisi laskea tankille päin ja haarojen pitäisi lähteä putken päältä, jotta kondensoituvan veden aiheuttamat ongelmat voidaan minimoida. (Nayyar 2000, s. C755-C799)

Kirjassa Piping Handbook suositellaan yleisemminkin haarautuvien putkien suunnittelua siten, että haara alkaa putken yläpinnalta. Syy on sama kuin paineilmaputkistoissa: kondensoituva vesi. Veden kulkeutumista putkistoissa voidaan rajoittaa, kun haarautuvat putkistot eivät ala putken alapinnalta, jonne mahdollisesti tiivistyvä vesi kertyy. Haarautumispisteiden oikealla valinnalla, sopivilla laskuilla sekä riittäväillä tyhjennyksillä ja ilmauksilla voidaan varmistaa putkiston taloudellinen ja luotettava toiminta. (Nayyar 2000, s. C755-C799)

3.2 Putkiston 3D-mallinnus

Muun muassa putkistosuunnitteluun käytettyjä 3D-mallinnusohjelmia ovat esimerkiksi PDMS, PDS, CADWorx, SmartPLANT 3D, AutoPLANT ja PLANT-4D. 3D-

mallinnuksen etuna on mahdollisuus tarkastella suunniteltavaa laitosta vapaasti eri suunnista ja tarkentaa näkymää alueelle, jossa on enemmän katsottavaa. Mallista on hyötyä myös esiteltäessä laitosta asiakkaalle tai ennustettaessa mahdollisia suunnittelu- tai rakennusongelmia. Mallinnusohjelmista löytyvästä törmäystarkastelusta on huomattavaa hyötyä, koska sen avulla esimerkiksi palkin läpi menevät putket voidaan löytää jo suunnitteluvaiheessa, jolloin säästö on huomattava verrattuna virheen paljastumiseen vasta rakennusvaiheessa. (Parisher 2011, s. 307-310)

3D-mallin luomisen jälkeen siitä voidaan tehdä piirustuksia, joissa on tarvittavat mitat ja kohde on kuvattuna halutusta suunnasta. Piirustuksien lisäksi valmista mallia voidaan käyttää lujuslaskentaan, hyödyntämällä laitossuunnitteluohjelman kanssa yhteensopivaa lujuslaskentaohjelmistoa. (Parisher 2011, s. 312)

Isometri on kolmiulotteinen kuva, joita käytetään yleisesti putkistosuunnittelussa, koska ne ovat havainnollisempia tähän tarkoitukseen kuin ortografiset projektiot. Tavallisessa koneenpiirustuskuvassa kappale on kuvattu kolmesta eri suunnasta: ylhäältä, edestä ja sivulta, mikä voi vaikeuttaa kuvan tulkintaa, jos putkistoon liittyy paljon eri komponentteja. Isometrisiä kuvia käytetään putkiston valmistamiseen ja asentamiseen. (Parisher 2011, s. 269-306)

Isometrisissä piirustuksissa käytettäviä piirrosmerkkejä käsittelevät muun muassa standardit SFS-ISO 6412-2 ja SFS 5362. SFS-ISO 6412-2 koskee putkistojen yksinkertaistettua esittämistä ja SFS 5362 kannatuksen yksinkertaistettua esittämistä. Kannatuksista esitetään sekä kannatuspaikka että kannatustapa. Putkistojen yhteydessä voidaan merkitä halkaisijat ja seinämänpaksuudet, taivutussäteet ja -kulmat, tasot, viettosuunnat sekä putken päiden sijainnit. (SFS 5362, 2004; SFS-EN ISO 6412-1, 1995; SFS-ISO 6412-2, 1990)

3.3 Putkistokannattimet

Putkiston kannatuksesta on annettu ohjeita lukuisissa eri SFS:n standardeissa. Kannake-standardit esitellään standardissa SFS 5361, jossa on myös yleisiä ohjeita putkiston kannatukseen. Standardeilla ohjataan muun muassa valmistusta, merkintää, käytettäviä piirrosmerkkejä, kannatusvälejä ja putkivälejä. (SFS-5361, 2007)

Standardeissa on kattavasti standardisoitu erilaisia primäärikannakkeita, mutta sekundäärikannakkeet suunnitellaan usein tapauskohtaisesti. Primäärikannakkeet liittyvät suoraan putkistoon ja sekundäärikannakkeet puolestaan liittyvät primäärikannakkeet teräsrakenteisiin. Esimerkiksi putkisilta voi olla sekundäärikannake. Yrityksen suuruudesta ja organisaatiosta riippuen kannakesuunnittelua tekevät joko putkistosuunnittelijat tai kannakointiin erikoistuneet suunnittelijat, jotka ovat syvällisemmin perehtyneet kannakointisuunnitteluun. (Kesti 1992, s. 108)

Primäärikannakkeiden tehtävänä on ottaa vastaan putkiston niihin kohdistamat voimat ja siirtää ne edelleen sekundäärikannakkeiden kautta rakenteisiin. Primäärikannakkeiden kuormitukset voivat aiheutua muun muassa putkiston omasta massasta, putkiston lämpölaajenemisesta, koneiden ja laitteiden aiheuttamasta putkiston värähtelystä, käytöstä

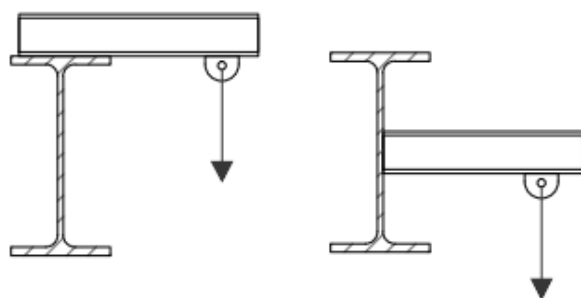
aiheutuvista vesi- ja paineiskuista, esijännitysvoimista sekä tuuli- ja lumikuormista. Sekä primääri että sekundäärikannakkeet on mitoitettava niin, että ne kestävät nämä voimat. Huomioon on otettava myös rakennuksen rakenteiden kestävyys, jos voimat ovat suuria. (Kesti 1992, s. 108)

Kestin (1992) mukaan kannakkeet on yleensä sijoittaa suoraan putkeen, eikä esimerkiksi venttiiliin tai muuhun komponenttiin. Komponentin ollessa painava voi se vaatia erillisen tuennan. Putkiston varusteisiin kiinnitetty kannake saattaa aiheuttaa esimerkiksi venttiiliin tai laipan tiivisteen vuotamisen, jos paikalliset kannakointikuormitukset ovat suuria. (Kesti 1992, s. 108-109)

Pienisäteiset mutkat ja hitsatut käyrät ovat jo valmiiksi suurimman kuormituksen alaisena, joten on järkevää kannakoida putki sen suoralta osuudelta. Tällöin ei entisestään lisätä kuormitettujen paikkojen jännityksiä. Kannaketyypistä riippuen kannakkeella on erilainen vaikutus putken joustavuuteen, mikä on myös otettava huomioon. (Kesti 1992, s. 109)

Putkenosat, joita joudutaan säännöllisesti siirtelemään huoltojen tai puhdistusten takia, ovat huonoja kannakointipaikkoja. Toisaalta erityisen hyvät kannakointipaikat ovat lähellä suuria kuormituksia, kuten vertikaaleja putkia, putkien yhtymiskohtia, painavia venttiilejä ja pieniä säiliöitä, joita ei ole erikseen kannakoitu. (Kesti 1992, s. 109)

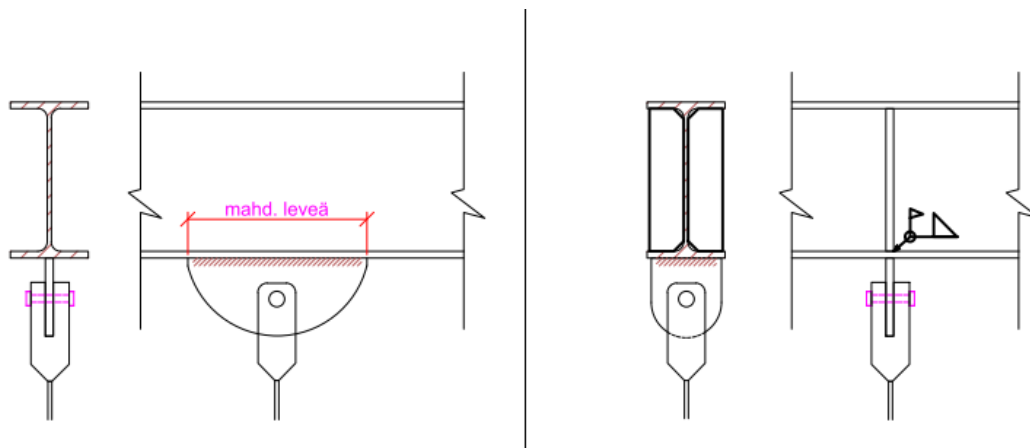
Sekundäärikannakkeita suunniteltaessa on otettava huomioon teräsrakenteen kyky vastaanottaa kuormia. Esimerkiksi kattilarakennuksen diagonaaliset vetojännityksen alaiset teräsrakenteet eivät kestä juurikaan ylimääräistä kuormitusta, joten niihin kannakointia on pyrittävä välttämään. Avoprofiilien, kun I-palkkien, suhteen on huomioitava, että niiden vääntöjäykkyys on huomattavasti heikompi kuin suljettujen profiilien. Pitkän I-profiilia vääntävän momenttivartena toimivan sekundäärikannakkeen suunnitteleminen on vältettävä ratkaisu. Momenttivaikutus voidaan kumota käyttämällä sekundäärikannakkeelle kahta eri kiinnityspistettä eli käytännössä hitsaamalla sekundäärikannake esimerkiksi kahteen eri I-profiiliin. Kuvassa 3.1 on havainnollistettu vältettäviä ratkaisuja. (Metson materiaalit)



Kuva 3.1. Kuvan kaltainen ratkaisu aiheuttaa vääntöjännitystä I-palkkiin ja sekundäärikannakkeen pään siirtymä voi kasvaa liian suureksi. (Metson materiaalit)

Riippukannakkeita käytettäessä korvakkeen olisi hyvä olla palkin uuman suuntainen tai jos se ei ole mahdollista, niin palkkiin voidaan joutua hitsaamaan uumajäykisteet. Suu-

rilla kuormituksilla on sekundäärikannatuksen kestävyys lisäksi huomioitava palkin kestävyys. Kuvassa 3.2 on riippukannake, joka on kiinnitetty I-palkkiin. (Metso materiaalit)



Kuva 3.2. Tämä on suositeltava kiinnitystapa riippukiinnikkeille. (Metson materiaalit)

Uumajäykisteitä on käytettävä myös, jos kannake välittää vaakavoimia palkin uumalle. Palkin vastakkaiselle puolelle voidaan hitsata uumajäykiste tai sekundäärikannake voidaan hitsata uumajäykisteeseen kiinni. Sekundääriteräksen tullessa poikittain tasokannatinpalkin päälle tulee sekundäärikannakkeessa tarvittaessa käyttää uumajäykisteitä, jotta risteävien uumien kohdalla saavutettaisiin riittävä jäykkyys. (Metson materiaalit)

3.3.1 Liukukannatus

Standardin SFS 5361 mukaan suositeltavin kannatustapa teollisuusputkistoille on liukukannatus. Sen hyvänä puolena on putkien suuret sallitut liikkeet ja lepokitkasta aiheutuva dynaamisia häiriöitä vaimentava vaikutus. Valittaessa kannatustapaa putkisillalle tai putkitunneliin, on liukukannatus lähes ainoa mahdollinen kannatustapa. (SFS-5361 2007, s. 12)

Liukukannatuksen tyypistä, putken koosta ja eristyksestä, putken sisällöstä sekä lisäkuormituksista riippuen kannatuskohdille on suoritettava lujoustarkastelu. Liukukannattimia on standardoitu putkien kokoluokille välillä DN 10...1200. Vastaavasti korkein standardoitu käyttölämpötila on 480 °C. (SFS-5361 2007, s. 10-11)

Liukukannakoinnissa on otettava huomioon, että jos putki on pitkään paikallaan ja olosuhteet ovat epäedulliset, niin kannake voi ruostua kiinni alustaansa. Ruostunut liukukannake ei toimi suunnitellusti, mikä voi aiheuttaa ylimääräisiä kuormituksia. Lisäksi liukukannakointia suunniteltaessa on otettava huomioon, että se ei missään tilanteessa saa pudota pois alustaltaan. Alustaltaan pois pudonnut kannake voi kuormittaa putkistoa huomattavasti, kun putken lämpötila muuttuu, mutta kannake ei enää pääse liikkumaan. (Kesti 1992, s. 110-111)

3.3.2 Riippukannakkeet

Riippukannatuksen hyvänä puolena on sen edullisuus. Sekundäärikannakkeita ei juurikaan tarvita, koska kiinnityspisteet sijaitsevat putken yläpuolella. Kiinnityskorkeudesta riippuu, että paljonko putki saa liikkua, koska riippuvarren sallittu poikkeama pystysuunnasta on alle 4°. Kiinnitysmuoto antaa putkien liikkua suhteellisen vapaasti, mikä voi altistaa putkiston värähtelylle. (SFS 5361 2007, s. 11-12)

Standardissa riippukannakkeen yläpään rakenteille on olemassa 5 eri vaihtoehtoa, joilla riippukannake voidaan kiinnittää esimerkiksi yläpuolella kulkevaan putkeen, kattoon tai muuhun rakenteeseen. Alapään rakenne riippuu kannatettavan putken lämpötilasta. Tarvittaessa ripustustankoa voidaan jatkaa standardin mukaisella jatkosmuhvilla. (SFS 5380 2000, s. 1-11)

3.3.3 Ohjaukset ja kiintopisteet

Kuten nimestä voi päätellä, niin kiintopiste estää putken liikkeen ja ohjauspiste sallii vain tietyn suuntaiset liikkeet. Yleensä ohjauspiste sallii putken aksiaalisen liikkeen, mutta estää muun suuntaiset liikkeet. Tavallisesti kiintopiste valitaan ainakin läheltä erilaisia laitteita, kuten säiliöitä ja jakokammioita. Tällä valinnalla voidaan minimoida putkiston liitokseen kohdistama kuormitus sekä suojata arkoja laitteita iskumaisilta kuormituksilta, joita voi aiheutua esimerkiksi venttiilien äkillisistä avautumisista tai sulkeutumisista. (SFS 5361 2007, s. 6-7)

Kiintopisteillä voidaan myös ohjata putkiston lämpölaajenemista ainoastaan haluttuun suuntaan. Ohjauspisteen tarkoitus toiminnallisesti samankaltainen, mutta se ei kuitenkaan estä liikettä ohjauspisteessä täysin. Rakenteellisesti se voidaan tehdä liukukannattimesta, johon liitetään esimerkiksi L-muotoiset kynnet ohjaamaan putken liikettä siten, että se voi liikkua vain aksiaalissuunnassa. (Kesti 1992, s. 111-113)

3.3.4 Joustava kannatus

Joustavia kannakkeita ovat jousikannakkeet ja vakiovoimakannakkeet. Vakiovoimakannakkeille ei ole olemassa standardia, mutta tavallisesti ne ovat rakenteeltaan jousinivelrakenteisia. Kuten nimestä voi päätellä, niin putkea kannattava voima on suuruudeltaan vakio putken sallitulla liikealueella. Vakiovoimakannakkeissa on yleensä säätöruuvi, jolla putkeen kohdistuvaa voimaa voidaan säätää. Säätöalue on tavallisesti $\pm 15\%$. (SFS 5361 2007, s. 13-14; Kesti 1992, s. 114)

Ripustusjousikannatusta käytetään vaakaputkien kannatukseen, jos niillä on pystysuuntaista liikettä. Tällöin ehtona ripustusjousien käytölle on, että jousivoima ei vaihtelee yli 25 prosenttia. Tätä suuremmilla vaihteluilla on suositeltavaa käyttää vakiovoimakannattimia. Joustavaa kannatusta käytetään tavallisesti ripustusvarsien tai liukukannattimien kanssa, kun pystysuuntaista joustoa tarvitaan. Suunniteltaessa joustavaa kannatusta on otettava huomioon, että joustovaran pitää riittää kaikissa käyttöolosuhteissa. Myös kan-

natusvoiman on oltava aina riittävä. Värähtely tai voimakkaat reaktiovoimat voivat olla esteenä jousikannakkeiden käytölle. (SFS 5361 2007, s. 13-14; Kesti 1992, s. 113)

3.3.5 Kannatus- ja putkivälit

Suosittelavia kannatus- ja putkivälejä käsitellään standardeissa SFS 5363 ja SFS 5364. Kannatusvälistandardi koskee DN 10...1200 kokoisia teräsputkia, jotka voivat olla eristettyjä tai eristämättömiä. Mitoitusperusteissa oletetaan, että teräsputkien seinämäpaksuudet noudattavat standardia SFS 2007 ja austeniittisten ruostumattomien teräsputkien seinämäpaksuudet noudattavat standardia SFS 4161. Myös eristepaksuus on oletettu standardin mukaiseksi. Sallittu taipuma on alle DN 50 kokoisilla (tai DN 50) putkilla maksimissaan 3 mm ja yli DN 50 kokoisilla putkilla maksimissaan 6 mm. (SFS 5363 2000, s. 1-2)

Kannatusvälit voidaan laskea vapaasti tuetulle tai kiinteästi tuetulle putkelle. Erikseen on vielä esitetty kaava yhdekohdan jännityksen laskemiseksi putken haaroituksessa. Teräksisten putkien taulukoidut kannatusvälit vaihtelevat välillä 1,2-32,6 m. Lyhyin taulukoitu kannatusväli on vapaasti tuetulla eristetyllä putkella (DN 10), kun nesteen lämpötila on 250 °C. Pisin kannatusväli on kiinteästi tuetulla eristämättömällä putkella (DN 1200), kun kaasun lämpötila on 20 °C. (SFS 5363 2000, s. 1-9)

Putkivälejä käsitellään standardissa SFS 5364. Standardissa putkivälit on ilmoitettu putkien keskilinjojen välisenä etäisyytenä, johon vaikuttaa käyttölämpötila, eristysten paksuus, putkien nimelliskoot ja laippakoot. Lisäksi standardissa on taulukoituna putkien keskiöetäisyyksiä tasopinnoista sekä kaava kokoeroltaan suurten putkien putkivälin laskemiseksi. (SFS 5364 2000)

3.4 Lämpölaajenemisen kompensointi

Lämpötilan muuttuessa eri materiaalien pituus muuttuu eri tavalla, materiaalin pituuden lämpötilakertoimen mukaisesti. Putkiston reittejä suunniteltaessa on tiedettävä putkien minimi- ja maksimikäyttölämpötilat, jotta lämpölaajeneminen voidaan ottaa huomioon. Putkisillan rakenteesta riippuen on myös sen lämpölaajeneminen otettava huomioon. Usein prosessia käynnistettäessä putket ovat kylmiä ja normaalissa käyttötilanteessa lämpötila voi olla huomattavasti korkeampi. Taulukossa 3.2 on listattu eri materiaalien pituusmuutoksia eri lämpötila-alueilla. (Kesti 1992, s. 121; SFS 5361 2007)

Taulukko 3.2. Lämpöpitenemät standardin SFS 5361 mukaan. (SFS 5361 2007, s. 3)

Rakenneaine	Lämpöpitenemä l, mm/m			
	Lämpötilan muutosalue t, °C			
	20...100	20...200	20...300	20...480
Hiiliteräs tai niukkaseosteinen teräs	1,1	2,4	3,6	6,5
Austeniittinen teräs 18/8	1,7	3,5	5,0	8,6
Kupari	1,7	3,4	4,5	
Alumiini	2,5			
Polyeteeni, HD, LD	15...30			

Kuten taulukosta 3.2 nähdään, niin suunniteltaessa on tärkeää tietää sekä valmistusmateriaali että mahdollinen lämpötilan muutosalue. Lämpöliikkeitä suunniteltaessa olisi hyvä, jos putken pituuden muutoksesta aiheutuva lämpöjännitys pystyttäisiin kompensoidaan putkistossa luonnollisesti esiintyvillä mutkilla. Jos tämä ei ole mahdollista, niin voidaan esimerkiksi putkisillalle suunnitella U-mutka, joka kompensoi tehokkaasti lämpöjännityksiä. U-tasaimia käytettäessä aksiaaliset ohjaimet on sijoitettava riittävän etäälle, jotta U-tasaimen joustokyky säilyy hyvänä. (Kesti 1992, s. 121-123; SFS 5361 2007)

Esimerkiksi päähöyryn varoventtiilien ulospuhallusputket ovat kohtalaisen pitkiä ja normaaleissa käyttöolosuhteissa ne eivät ole kuumia. Kuitenkin varoventtiilin auetessa putki kuumenee nopeasti, kun se täyttyy tulistetulla höyryllä. Tämän takia ulospuhallusputket tarvitsevat lämpölaajenemisen huomioivan reitityksen sekä kannatuksen, joka on suunniteltu kestämään lämpölaajenemisen aiheuttamat voimat ja mahdollistaa putkiston riittävän joustamisen.

3.5 Putkien liittämismenetelmät

Putkia voidaan liittää toisiinsa ja toimilaitteisiin hitsaamalla, kierreliitoksilla, laippaliitoksilla ja erilaisilla mekaanisilla liitoksilla. Tavallisessa hitsausliitoksessa kahden putken viistetyt päät hitsataan toisiinsa kiinni. Tavallisen hitsausliitoksen lisäksi voidaan käyttää holkkeja, jotka hitsataan liitettävien putkien päälle. Holkissa voi olla kaulus, joka estää putkien laittamisen vastakkain. Tällöin on otettava huomioon, että kahden putken yhteispituus muuttuu, kun ne liitetään toisiinsa. Putken päitä ei myöskään viistetä, kun liittämiseen käytetään holkkia. (Liu 2003, s. 223-224; Parisher 2012, s. 6-9)

Kierreliitoksia käytetään tavallisesti vain alle kolmen tuuman (noin 75 mm) putkissa. Kierreliitos voidaan tehdä koneistamalla toiseen putkeen ulkopuoliset kierteet ja toiseen sisäpuoliset kierteet. Toinen vaihtoehto on käyttää holkkia, jossa on kierteet ulko- tai sisäpuolella ja vastaavasti liitettävissä putkissa on kierteet eri pinnoilla. Kierreliitoksen etuna on, että se voidaan avata hajottamatta putkea. (Parisher 2012, s.7-8)

Laippaliitos on yleisin tapa liittää kaksi putkea toisiinsa, kun tarvitaan lujaa liitosta, mutta liitos on tarvittaessa kyettävä purkamaan rikkomatta putkea tai siinä kiinni olevaa toimilaitetta. Laippaliitoksia käytetään paljon, kun putki liitetään pumpun imu- tai pai-

nepuoleen, venttiiliin, virtausmittariin tai muuhun vaihdettavaksi tarkoitettuun komponenttiin tai laitteeseen. (Liu 2003, s. 224)

Laippaliitos on potentiaalisesti putkiston heikoin lenkki ja siksi on tärkeää, että mitoituksen perustana olevia suunnitteluarvoja ei koskaan ylitetä. Laippaliitoksen mitoitusta käsittelevät useat eri standardit, joiden avulla voi suunnitella vuototiiviitä liitoksia. Mitoituksessa on otettava huomioon putken sisällä virtaavan aineen paine ja lämpötila sekä liitoksen ulkoiset olosuhteet. Ympäristön lisäksi huomioon on otettava laipan ja tiivisteiden muoto sekä niiden valmistusmateriaalit. Tiiveyteen vaikuttaa myös pulttien kiristysmomentti ja järjestys, jossa pultit kiristetään. (Smith 2007, s. 101-102)

3.6 PI-kaaviot

PI-kaavio (Piping and Instrumentation Diagram) näyttää prosessin kannalta merkittävät laitteet ja niiden väliset yhteydet. Se voi pitää sisällään tietoa laitteista, mittalaitteista, putkista, venttiileistä ja niiden varusteista. Kaaviota laadittaessa on tarpeellista esittää suhteelliset korkeuserot eri laitteiden välillä vain, kun niillä on vaikutusta laitteiden toimintaan. Korkeusero voi vaikuttaa esimerkiksi pumpun imupuolen paineeseen, joten se on tarpeellista esittää kaaviossa. Yksityiskohtaisempi kuvaus putkistoista esitetään putkistoisometreissä tai 3D-mallissa. (Sinnot & Towler 2009, s. 230-231; Kippo & Tikka 2008, s. 90)

Virtauskaaviotyyppisessä prosessikaaviossa prosessilaitteita kuvataan standardipiiirrosmerkeillä. Virtausviivat yhdistävät piiirrosmerkit toisiinsa. Tärkeimmät kaavioista selviävät asiat ovat virtaussuunnat ja prosessilaitteiden liittyminen toisiinsa sekä prosessilaitteet yksilöivät sarjanumerot. Instrumenttiympyrän sisällä on positiotunnus sekä mittalaitteen yksilöivä koodi, joka voi sisältää kirjaimia ja numeroita. Kaikilla mittalaitteilla on oma yksilöivä tunnuksensa, jonka avulla voi esimerkiksi tehdä hakuja tietokannoista. Mittalaitteen ympyräsymbolin yläosassa on kirjaintunnus, joka kertoo mittalaitteen toiminnon tai toiminnot. Suomessa käytetyt kirjainmerkit on lueteltu standardissa SFS-ISO 14617-6 ja PSK:n standardissa PSK 0901. (Kippo & Tikka 2008, s. 90-97)

PI-kaaviolla on useita eri käyttötarkoituksia, sitä voidaan käyttää esimerkiksi suunnittelussa, kunnossapidossa ja laitoksen käytössä. Lisäksi tarkastavat viranomaiset ja turvallisuusmääräysten laatijat voivat hyödyntää PI-kaavioita. Sitä voidaan käyttää myös pohjana erilaisten laitteiden ja putkistojen jatkosuunnittelulle. Siitä saadaan perustiedot esimerkiksi putki- instrumentointi-, sähkö ja asennussuunnitelmien laatimisen avuksi. Myös kustannusarvion tai tarjouksen tekemisessä voi käyttää hyödyksi PI-kaaviota, jos tietojen ei enää uskota muuttuvan merkittävästi. (PSK 3603, 2012)

Kaikkia järjestelmiä ei mahduta yleensä kuvaamaan yhdellä PI-kaaviolla, eikä se olisi tarkoituksenmukaistakaan. Siksi PI-kaavioita tehdään yleensä useita ja ne on rajattu aiheen mukaan. Kaavion jakaminen useammalle eri lehdille olisi tehtävä niin, että jokaisen lehden kaavio muodostaa jonkin luonnollisen kokonaisuuden. (PSK 3603, 2012)

PI-kaavioissa esitetään kaikki putkistot lukuun ottamatta instrumenttiputkistoja. Putkiston kannalta kaavioissa esitettävät oleelliset asiat ovat muun muassa putkilinjatunnuk-

set, tieto siitä missä kaaviossa putkilinja jatkuu, virtaussuunta, putkivarusteet, hankintarajat, mittaukset ja venttiilit. Venttiilit piirretään siihen asentoon, missä ne ovat normaallitilanteessa. Yleensä laitoksessa ylhäällä olevat laitteet kuvataan kaaviossa arkin yläosaan ja laitoksen alaosaan olevat laitteet arkin alaosaan. (PSK 3603, 2012)

3.7 Standardit ja lait

Kattilalaitosten suunnittelua ohjaavat erilaiset lait sekä standardit, joille alkusysäyksen ovat antaneet kattilalaitosten vakavat onnettomuudet. Onnettomuuksien jälkeen on havahduttu siihen, että onnettomuudet olisivat voineet olla estettävissä, jos suunnittelussa pitäisi täyttää jokin minimivaatimustaso. Eri alueilla noudatetaan erilaisia standardeja, jotka eroavat toisistaan yksityiskohdissa, mutta niiden yhteisenä tarkoituksena on asettaa minimivaatimustaso mitoitukselle. (Nayyar, 2000)

Teollisuudessa käytettävien putkistojen suunnittelua ohjaa Suomessa eurooppalainen standardi SFS-EN 13480. Se korvaa aikaisemmin käytössä olleet standardit ja on vahvistettu suomalaiseksi kansalliseksi standardiksi. Kyseinen standardi koostuu kahdeksasta eri osasta, jotka käsittelevät muun muassa materiaaleja, suunnittelua ja laskentaa sekä valmistusta ja asennusta. Standardi koskee kaikkia metallisia putkia, paineesta riippumatta. Putkistot jaotellaan standardin mukaan virtaavan nesteen, paineen ja putken koon perusteella neljään eri kategoriaan. (SFS-EN 13480:en 2013)

Standardin toisessa osassa käsitellään materiaali vaatimuksia teollisuusputkistoille ja niiden kannakkeille. Se ohjaa metallimateriaalien valintaa, testausta ja merkintöjä teollisuusputkistojen valmistamista varten. Standardissa metallimateriaalit jaetaan kymmeneen eri ryhmään ja esitetään vaatimuksia haurasmurtumien estämiseksi matalissa lämpötiloissa. Jaottelu tapahtuu teräksen seostuksen, lujuuden ja lämpökäsittelyn perusteella. (SFS-EN 13480:en 2013)

Standardin lisäksi painelaitteiden rakentamisesta ja sijoittamisesta määrää Suomessa painelaitelaki. Laissa painelaitteella tarkoitetaan kaikkia teknisiä kokonaisuuksia, jos niissä on tai niihin voi kertyä painetta. Lisäksi se koskee teknisiä kokonaisuuksia, jotka on tarkoitettu painelaitteiden suojaamiseen. Käytännössä laki koskee suurta osaa kattilalaitoksesta, kuten säiliöitä ja putkistoja. Painelaitelain 3 §:n mukaan: ”Painelaite on rakennettava ja sijoitettava ja sitä hoidettava, käytettävä ja tarkastettava niin, ettei se vaaranna kenenkään terveyttä, turvallisuutta tai omaisuutta.” (Painelaitelaki, 1999)

Painelaitelaki on yhteneväinen EU:ssa voimassa olevan painelaitedirektiivin kanssa. Direktiivin tarkoituksena on yhtenäistää painelaitteita koskevat säädökset EU:n jäsenvaltioissa. Painelaitteet luokitellaan neljään eri luokkaan. Luokittelu tapahtuu painelaitteen tyypin, suurimman sallitun käyttöpaineen ja tilavuuden (säiliöt) tai nimellissuuruuden (putket), sisällön olomuodon ja sisällön vaarallisuuden perusteella. Sisällön mukaan vaaralliseksi luokitellut aineet on määriteltävä kemikaaliasetuksen (675/1993) 3 §:ssä ja ne kuuluvat sisällön ryhmään 1. Muut sisällöt kuuluvat ryhmään 2. (Painelaitteet 2013)

Turvatekniikan keskuksen painelaiteoppaan mukaan käyttöön otettavasta painelaitteesta on oltava olemassa esimerkiksi käyttöohjeet, EY-vaatimuksen mukaisuusvakuutus,

suunnittelu- ja valmistuspiirustukset, suunnittelun perusteet, materiaalitodistukset sekä hitsaus-, lämpökäsittely- ja NDT-asiakirjat. Suunnittelun perusteista pitää selvittää esimerkiksi ennakoidut käyttöolosuhteet, suunniteltu sisältö, suunnittelunormi, lujuusker-toimet ja ohenemisvarat. Käyttöönottotarkastuksen lisäksi painelaitteille tehdään tarvittaessa määräraikaistarkastuksia. (Painelaitteet 2013)

3.8 Asentaminen

Suunnittelun kannalta on oleellista minimoida rakennusvaiheessa eteen tulevat ongelmat, koska suunnitteluvirheiden korjaaminen rakennusvaiheessa on kallista. Ongelmia voivat aiheuttaa esimerkiksi painekokeen toteuttaminen, eri materiaalien hitsaaminen toisiinsa sekä suunnittelun keskeneräisyys rakennusvaiheessa. Ongelmien välttämiseksi putkiston suunnittelijalla on oltava riittävästi tietoa suunnittelupäätösten vaikutuksesta asentamiseen.

Putkiston valmistaminen edellyttää putkien leikkaamista, taittamista, muokkaamista ja hitsaamista kiinni toisiinsa sekä näitä tehtäviä usein seuraavia työvaiheita, kuten lämpökäsittelyjä ja tarkastamista ainetta tuhoamattomilla menetelmillä. Valmis putkisto pitää vielä painetestata standardin mukaisesti ja sen jälkeen tyhjentää painetestaukseen käytetystä aineesta sekä puhdistaa käyttöä varten. (Nayyar 2000, s. A.261)

Tilanteesta riippuen putkisto valmistetaan putkiston esivalmistukseen erikoistuneella pajalla kaukana varsinaisesta työmaasta tai työmaan lähellä. Piping Handbookin mukaan yleisenä sääntönä voidaan pitää, että noin DN 65 koon ja suuremmat putket esivalmistetaan. Erityiset lämpökäsittely- tai puhdistusvaatimukset voivat vaikuttaa käytännön jakoon esivalmistettaviin ja paikalla valmistettaviin putkiin. Putkien puhdistaminen ja lämpökäsittely on helpompaa esivalmistusta tekevällä pajalla. Esivalmistaminen on yleensä halvempaa kuin putkiston kokoaminen hitsaamalla pienistä osista työmaalla, mutta suurten kappaleiden kuljetuksessa ja asentamisessa on omat ongelmansa. Esivalmistaminen on halvempaa, koska esivalmistusta tekevällä pajalla on usein automaattisia laitteita putkien hitsaamista ja taivuttamista varten sekä enemmän tilaa kuin ahtaalla rakennustyömaalla. (Nayyar 2000, s. A.261)

Hitsaamisen jälkeen hitsaussaumot tarvittaessa lämpökäsitellään, jos on todennäköistä, että hitsaus on aiheuttanut lämpöjännityksiä hitsaussauman ympäristöön. Putken koosta ja lämpökäsittelyn tarkkuusvaatimuksista riippuen voidaan käyttää induktiolämmittimiä tai kaasupilliiä. (Nayyar 2000, s. A.322)

Rakennusvaiheessa etukäteissuunnittelu on tärkeää. Monia tekijöitä on otettava huomioon, kuten yhteistyö muiden asennusta tekevien osapuolien kanssa, hitsaus- ja lämpökäsittelykaluston riittävyys ja niiden esteetön kuljettaminen kohteeseen sekä telineiden ja asennustukien tarve. Esimerkiksi pitkiä esivalmistettuja putkiston osia voi olla mahdollonta asentaa, jos ympärillä oleva teräsrakenne on jo valmistunut. Suurten voimalaitosten tapauksessa on yleinen tapa asentaa raskaimmat putkiston osat, kuten päähöyryputkiston kappaleet, samalla kun rakennusta pystytetään. (Nayyar 2000, s. A.320)

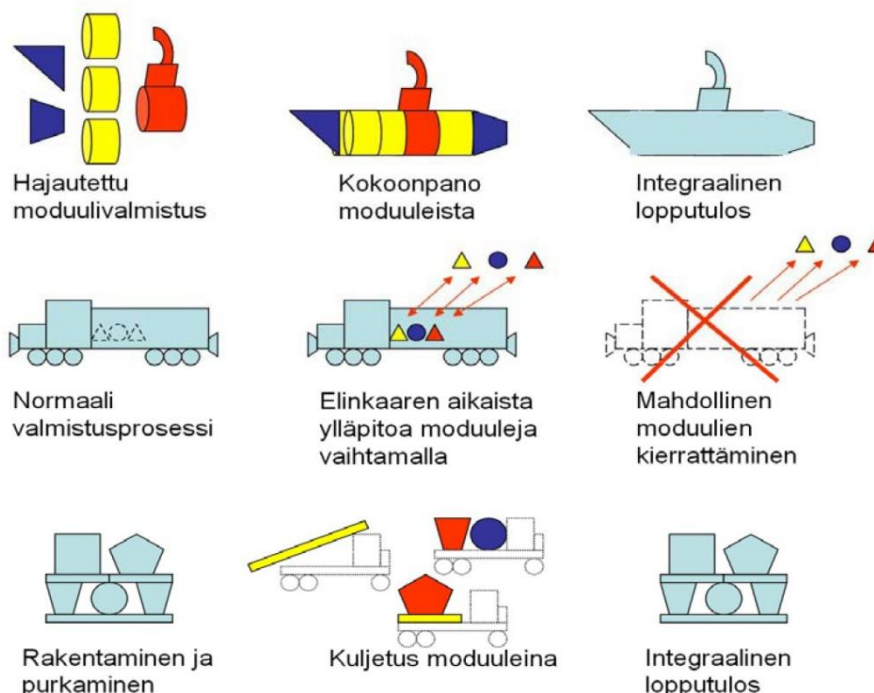
Myös lieriö on yksi oleellisista komponenteista kattilalaitoksen aikataulun ja logistiikan kannalta. Sen valmistaminen vie paljon aikaa ja vaatii kalliita koneita, koska se on paineenalainen osa, jonka tilavuus on suuri. Sen tehtävänä on toimia vesisäiliönä, veden erottimena höyrystä sekä jakotukkina. Layout-suunnittelu ja kattilalaitoksen rakentamistyöt määräytyvät monelta osin lieriön koon sekä sijoituksen mukaan. Se on usein yksi painavimmista komponenteista, joten sen kuljettaminen on suunniteltava huolella. Pysyttämismuutoksissa lieriön nostamiseen tarvitaan raskas nosturi. (Rayaprolu 2009, s. 268)

4 MODULOINTI

Modulointi on termi, joka on kirjallisuudessa määritelty monin eri tavoin (Lehtonen, 2007). Lehtonen itse määrittelee väitöskirjassaan modulaarisuuden alakäsitteen, jota hän kutsuu M-modulaarisuudeksi. Tällä hän tarkoittaa nimenomaan muunteluun tähtäävää modulaarisuutta, jolloin esimerkiksi tuotteen elinkaareen liittyvä modulaarisuus jää määritelmän ulkopuolelle. Lehtonen määrittelee M-modulaarisuuden moduulin näin: "Lohko (mikä tahansa tuotteen kokoonpano tai järjestelmän osio) on moduuli kun sillä on määrätty rajapinta ja se kuuluu moduulijärjestelmään." Moduulijärjestelmän hän puolestaan määrittelee seuraavasti: "Moduulijärjestelmä on lohkoista koostuva järjestelmä, joka sisältää lohkojen vaihtokelpoisuutta." Määritelmää lukiessa on hyvä huomata, että lohkojen vaihtokelpoisuuden ehdon täyttämiseksi riittää, että samaa moduulia voidaan käyttää useissa eri tuotteissa. (Lehtonen 2007, s.88-89)

Historiallisesti modulaarisuus on liitetty tuotteisiin, jotka sisältävät riittävän tarkasti määritellyjä rajapintoja. Rajapintoja on voitu hyödyntää esimerkiksi valmistuksen hajauttamiseen useisiin eri paikkoihin tai huollon helpottamiseen mahdollistamalla helposti rikkoutuvan kokonaisuuden vaihtaminen kerralla uuteen. Siten syynä moduloinnille ei usein ole ollut Lehtosen väitöskirjassaan kuvaama muuntelumodulaarisuus, vaan aluksi modulaarisuudella on tavoiteltu lähinnä elinkaarimodulaarisuuden hyötyjä. (Lehtonen 2007)

M-modulaarisuuden ulkopuolelle jäävä elinkaarimodulaarisuus on kattilalaitoksen moduloinnin kannalta mielenkiintoinen osa-alue, koska kattilalaitokset ovat yksittäistuotteita, joiden rakentamisessa käytetään paljon alihankkijoita. Valmistussyihin perustuva modulointi voi helpottaa kattilalaitoksen jakoa kokonaisuuksiin, jotka voidaan tilata ulkopuoliselta toimittajalta. Toisaalta kaikki rakennustyömaan ulkopuolella tehtävät osat on pystyttävä kuljettamaan työmaalle, joten myös logistiikkasyihin perustuvasta modulaarisuudesta on hyötyä. Työmaalla tapahtuva asennustoiminta on usein kalliimpaa kuin pajassa valmiiden osakokoonpanojen valmistaminen, minkä takia esimerkiksi venttiiliryhmät kannattaa valmistaa työmaan ulkopuolella ja kuljettaa valmiina kokonaisuutena paikalle. Kuvassa 4.1 on havainnollistettu elinkaarimodulaarisuuden eri muotoja.



Kuva 4.1. Erilaisia tapoja hyödyntää elinkaarimodulaarisuutta. (Lehtonen, 2007)

Venttiiliryhmän moduloinnissa voidaan ottaa huomioon elinkaaren aikainen ylläpito moduuleja vaihtamalla, jos venttiilit hyväksytään moduuleiksi. Toisaalta koko venttiili-ryhmä voi olla moduuli logistiikan ja valmistuksen näkökulmasta. Tällöin moduuli koostuu moduuleista, mikä on ristiriidassa Lehtosen (2007) tutkimuksen yhden lähtökohdan kanssa. Tämän työn kannalta esimerkiksi elinkaarimodulaarisuus on sopivampi modulaarisuuden määritelmä, koska M-modulaarisuus on määritelmänä turhan rajoittunut.

Joseph Pinen modulaarisuuden määritelmiä käyttäen Metsolla hyödynnetään tai pyritään hyödyntämään kattilalaitoksissa component-sharing-modulaarisuutta. Suhteellisen samanlaisina toistuvista kokonaisuuksista luodaan moduuli, jota voidaan käyttää useissa erikokoisissa kattilalaitoksissa. Tyypillisesti moduuleilla on vakiona pysyvä toiminto, liitännät prosessiin sekä kiinnitys teräsrakenteisiin. Käytettävät moduulit nopeuttavat sekä suunnittelutyötä että varsinaista työmaalla tapahtuvaa asennusta.

Aina kuitenkin sama moduuli ei käy kaikkialle, jolloin sitä voidaan joutua muokkaamaan projektia varten. Tästä aiheutuu ylimääräistä työtä, mutta työn määrä on kuitenkin vähäisempi kuin suunnittelun aloittaminen alusta. Yksinkertaisimmillaan moduulin muokkaaminen voi olla cut-to-fit-tyyppistä toimintaa, jossa moduulista poistetaan jotain ylimääräistä. Esimerkiksi tyhjennyksien kokoojatukissa saattaa olla liikaa venttiileitä, jolloin sitä voidaan lyhentää. Ongelmana on, että moduloinnin avulla suunnittelussa saavutetut hyödyt jäävät vähäisemmiksi, kun muutosten takia muun muassa piirustuksia joudutaan tekemään uudestaan.

Moduloinnin hyödyntäminen onkin välillä tasapainoilua optimoinnin ja epäoptimaalisen, mutta yleiskäyttöisen ratkaisun välillä. Käytännössä kokonaiskustannukset pitkälti

aikaväliltä ratkaisevat, että kannattaako jotain osajärjestelmää moduloida vai tarvitseeko se optimoida jokaista projektia varten.

Vaikka kattilalaitokset ovat projektin tuloksena syntyviä yksittäistuotteita, niin myös niistä löytyy kattilalaitoksesta toiseen toistuvia kokonaisuuksia. Jos tällainen kokonaisuus suunnitellaan uudelleenkäytettäväksi eli samaa osajärjestelmää voidaan käyttää useissa eri kattilalaitoksissa, niin se täyttää M-modulaarisuuden määritelmän. Verrattuna vain valmistus- ja logistiikkasyistä tehtyyn modulointiin, on M-modulaarisuudesta enemmän taloudellista hyötyä, koska valmistus- ja logistiikkakustannusten lisäksi voidaan säästää suunnittelukustannuksissa. Projekti voidaan myös toteuttaa nopeammalla aikataululla, kun kokonaisuuden suunnittelua varten on olemassa jo valmiita rakennuspalikoita, joita ei tarvitse alkaa suunnitella alusta alkaen. Kattilalaitosprojektien aikataulut ovat usein tiukkoja, joten suunnitteluajan vähenemisestä voi olla hyötyä jo tarjousvaiheessa, kun kattila voidaan luvata toimittaa tiukemmalla aikataululla kuin samasta projektista kilpailevat toiset toimittajat.

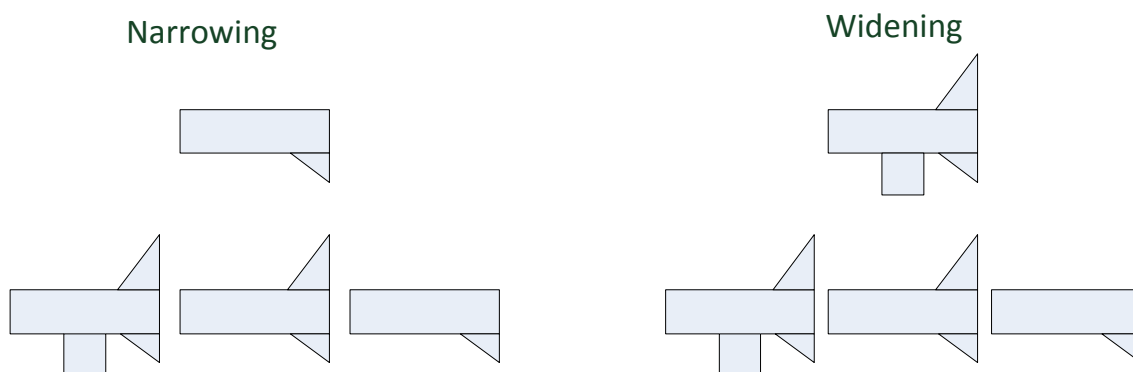
Lehtonen kuvaa väitöskirjassaan modulaaristen rakenteiden evoluutiota, joka alkaa vakioinnista ja päättyy dynaamiseen koko tuotteen elinkaaren kattavaan modulointiin. Lehtosen mukaan kyseessä on sekä moduloinnin kehittyminen ajan myötä että myös kompleksisuuden lisääntyminen siirryttäessä alemmalta tasolta ylemmäs. Vakiointia seuraa kokoonpanoperustainen modulaarisuus, jossa moduulit ovat myös fyysisesti rajattuja kokonaisuuksia ja rajausta tehdään usein valmistusteknisistä syistä. (Lehtonen 2007, s. 92-93)

Siirryttäessä kompleksisuudessa seuraavalle tasolle päädytään toimintoperustaiseen modulaarisuuteen. Tällöin moduuli ei enää välttämättä ole rakennuspalikka, jolla on tarkat mitat, vaan kokonaisuus tai osajärjestelmä, joka toteuttaa jonkun tietyn toiminnon. Toiminnon toteuttamiseen tarvittavat fyysiset osat voivat sijaita tuotteen, kuten kattilalaitoksen, eri osissa. Toimintoperustaiset moduulit mahdollistavat myös konfiguroitavien tuotteiden suunnittelun, kun tuotteeseen voidaan asiakkaan toivomuksen mukaan lisätä tai siitä voidaan poistaa toimintoja. (Lehtonen 2007, s. 92-93)

Lehtonen esittää, että tuotealustat ovat seuraava kehityssaskel modulaaristen rakenteiden evoluutiossa. Tuotealustakonseptin ideana on, että on olemassa tuote, joka voidaan jakaa varioituviin osiin ja vakio-osioon. Oletuksena on myös usein se, että tälle vakioalustalle voidaan tarvittaessa lisätä uusia toimintoja uusien moduulien avulla. Kompleksisuuden lisääntyessä päädytään lopulta dynaamiseen koko tuotteen elinkaaren kattavaan modulointiin. Dynaaminen modulointi edellyttää yritykseltä huomattavaa sitoutumista, koska se edellyttää, että yritys pystyy onnistuneesti ennustamaan asiakkaiden vaatimuksia. Tuotearkkitehtuuri rakennetaan siten, että se pystyy vastaamaan asiakkaiden vaatimuksiin tulevaisuudessa. (Lehtonen 2007, s. 93-94)

Tuotesarjojen suunnittelun avuksi on olemassa kaksi strukturointiperiaatetta, joita kutsutaan kaventamiseksi ja laajentamiseksi. Kaventamisessa tutkitaan tuotesarjaa ja etsitään siitä kaikissa tuotteissa esiintyviä toistuvia kokonaisuuksia. Mukaan otetaan vain kokonaisuudet, jotka toistuvat kaikissa tuotteissa ja näistä muodostetaan vakioelementtejä. (Lehtonen 2007, s.43-44)

Laajentamisperiaatetta käytettäessä tutkittavasta tuotesarjasta otetaan mukaan kaikki esiintyvät kokonaisuudet, jotta yhdellä tuotteella voidaan vastata erilaisiin asiakasvaatimuksiin. Huonona puolena laajentamisperiaatteessa on, että mukaan tulee väistämättä myös kokonaisuuksia, joita asiakas ei tarvitse. Molempia periaatteita voidaan hyödyntää myös suunnittelutiedon uudelleenkäyttöön. Malliin voidaan ottaa mukaan vain aina toistuvat osat, jotta niitä ei tarvitse aina suunnitella uudestaan tai kaikki mahdolliset osat, jolloin tarpeettomat osat voidaan poistaa tapauskohtaisesti. Kaventamisen ja laajentamisen ero selviää parhaiten kuvasta 4.2. (Lehtonen 2007, s. 43-44)



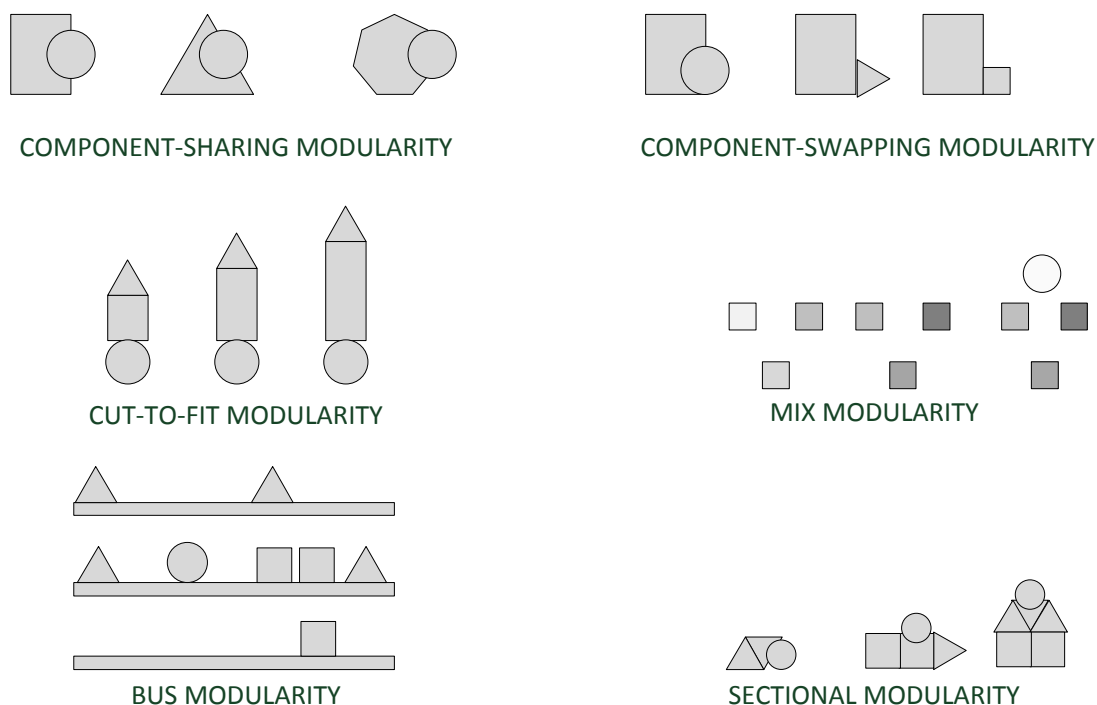
Kuva 4.2. Kaventamisen ja laajentaminen suunnitteluperiaatteina. (mukailtu lähteestä Lehtonen 2007)

Lehtosen mukaan ratkaisujen vakiointi säästää suunnitteluun tarvittavaa työaikaa ja parantaa laatua, mutta ei useinkaan johda moduulijärjestelmään. Kun mallien muokkaaminen on helppoa, niin ei välttämättä nähdä tarpeelliseksi ryhtyä käyttämään moduuleita, jos suurin osa kustannuksista syntyy suunnittelutyöstä. Käytännössä moduulijärjestelmä ei voi olla itsetarkoitus, jos pelkällä vakioinnilla saavutetaan asetetut tavoitteet. (Lehtonen 2007 s. 44)

Kuvassa 4.3 on alunperin William Abernathyn ja James Utterbackin kirjassa *Pattern of Industrial Automation* esittämät vaihtokelpoisuuden tyypit. Lehtosen mukaan tyypit ovat:

- "Saman elementin käyttö eri kombinaatioissa
- Elementin vaihtokelpoisuus muutoin samassa kombinaatiossa
- Parametrinen muuntelu elementeissä (ei pelkästään riittävä ehto)
- Väylä tai kehystyyppinen rakenne vakiorajapinnoilla
- Vakiorajapintojen mahdollistama vapaa kokoonpano"

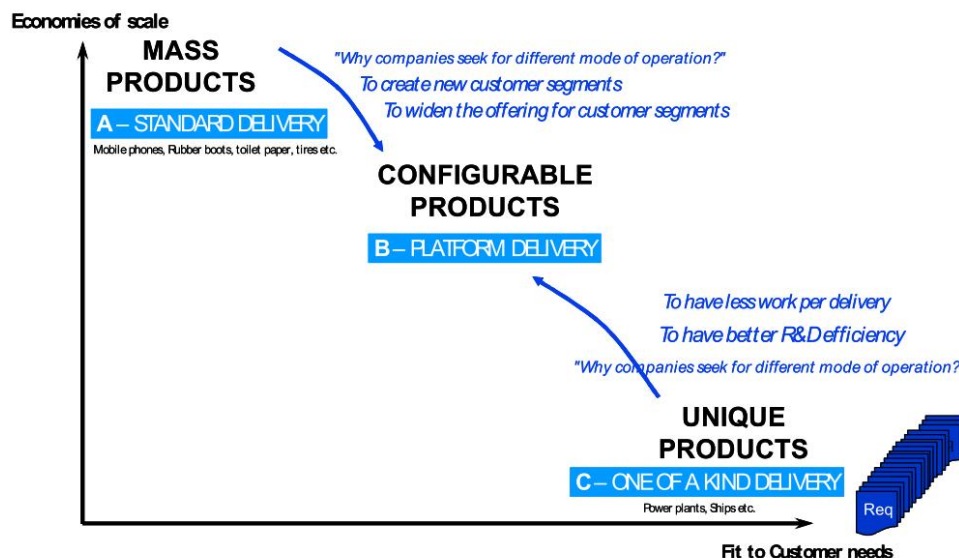
(Lehtonen 2007, s. 48)



Kuva 4.3. Erityyppiset modulaarisuudet mukaillen Joseph Pineä. (katso Lehtonen 2007, s. 48)

Pulkkisen (2007) mukaan projektitoimituksia myyvät yritykset pyrkivät konfiguroinnilla nopeuttamaan toimitusprosessia, minkä sivuvaikutuksena asiakastytyväisyys kasvaa. Säästöjä saavutetaan suunnittelutyön lisäksi hallinnossa, kun hallinnollisten tehtävien määrä vähenee myyntiprosessin aikana. Konfiguraation ansiosta kate voidaan ennustaa aiempaa tarkemmin ja myös toimitusvarmuus paranee. (Pulkkinen 2007)

Pulkkinen päätyy väitöskirjassaan esittämään, että projektitoimituksia myyvän yrityksen kannattaa siirtyä konfiguroitaviin tuoteperheisiin siten, että koko organisaatio on mukana prosessissa. Hänen mukaansa muutos ei onnistu askel-askeleelta, vaan muutoksen on oltava kokonaisvaltainen. Muutoksesta seuraa, että johdon tehtävät yksinkertaistuvat, kun prosessi on helpommin ennustettava ja muutokset tuotteisiin eivät aiheuta ennalta arvaamattomia vaikutuksia. Kuvan 4.4 mukaisesti konfiguroitavia tuotteita voidaan lähestyä kahdesta eri suunnasta, joko massavalmistuksen tai projektiliiketoiminnan suunnasta. (Pulkkinen 2007)



Kuva 4.4. Siirtyminen konfiguroitaviin tuotteisiin kahdesta eri suunnasta. (Juuti & Lehtonen, 2006)

Metson omistamassa tytäryhtiössä MW Powerissa modulointia hyödynnetään pienemmän kokoluokan voimalaitoksissa. Moduloitujen voimalaitosten kattiloiden maksimiteho on Biograte polttotekniikalla 18 MW ja BFB polttotekniikalla 29 MW. Näitä kattiloita hyödyntävistä voimalaitoksista on olemassa yhteensä 8 eri variaatiota, jotka tuottavat sähköä ja lämpöä erilaisissa suhteissa. (MW Power, 2013)

Metson mukaan moduloinnilla on saavutettu lyhyemmät toimitusajat, mahdollistettu suurempi esivalmistusaste ja parempi esitestausta sekä laskettu kustannuksia. Myös työn eteneminen on muuttunut joustavammaksi ja ennustettavammaksi, kuten Pulkkinen (2007) ennustaa väitöskirjassaan käyvän, kun yritys siirtyy käyttämään konfiguroituvia tuoteperheitä. (MW Power, 2013)

5 KATTILALAITOSTEN ANALYSOINTI JA ESI-SUUNNITTELU

Seuraavissa alaluvuissa on esitelty suunnittelun nykytilaa ja selvitetty, että miten putkistojen suunnittelu osana koko kattilalaitoksen suunnittelua voisi tapahtua tulevaisuudessa. Kattilalaitosten analysointia varten on valittu neljä eri projektia case-esimerkeiksi, joita on vertailtu toisiinsa. Suunnitteluprosessista on kerätty tietoa Metson työntekijöiltä sekä tietojärjestelmistä. Osa suunnitteluprosessin kehitysideoista on sovellettavissa käytäntöön jo nyt, mutta osan soveltamisen esteenä on ongelmia, joiden ratkaiseminen voi viedä aikaa.

Osa ongelmista johtuu projektiliiketoiminnan luonteesta ja toimitettavien tuotteiden ainutlaatuisuudesta. Kun tuote valmistetaan asiakkaan vaatimuksien mukaisesti, niin koko kattilalaitoksen vakiointi on vaikeaa. Esisuunnittelun aikana voidaan pyrkiä ohjaamaan projektin aikaista suunnittelua siten, että kattilalaitoksesta saataisiin mahdollisimman vakioitu tuote. Kaikkia putkistoja ei voi reitittää samalla tavalla kaikissa projekteissa, mutta osalle putkistoista voidaan luoda oletusreititys, josta poiketaan vain perustellusta syystä.

5.1 Käytetyt ohjelmat

Eri kattilalaitosten vertailuun on käytetty Autodeskin Navisworksia sekä Avevan PDMS-ohjelmaa. Molemmat ohjelmat tarjoavat tarkastelua varten riittävät ominaisuudet, mutta isompia kokonaisuuksia katsellessa Navisworks on kevyempi. Keveys ja käytön yksinkertaisuus selittyy sillä, että Navisworks on suunniteltu vain 3D-mallin katseluun eikä muokkaamiseen tai suunnitteluun, kuten PDMS. Toisaalta Navisworksin avulla ei pääse näkemään esimerkiksi putkien seinämävahvuuksia tai suunnitteluun käytettyä putkiluokkaa, joten se on parempi lähinnä yleiseen katseluun.

Prosessisuunnitteluun Metsolla käytetään COMOS-ohjelmaa, jolla voidaan tehdä muun muassa PI-kaavioita ja ohjelma sisältää tietoa kaikista kattilalaitokseen kuuluvista laitteista ja järjestelmistä. Putkistosuunnittelun kannalta on oleellista tietää esimerkiksi putkessa virtaava aine sekä sen lämpötila, paine ja virtausmäärä. COMOS on yhteydessä PDMS:ään, mikä mahdollistaa suunnittelutiedon pysymisen ajantasaisena molemmissa ohjelmissa, kun tietoja ei tarvitse erikseen päivittää.

Layout-suunnitteluun käytetään tarjousvaiheen alkupuolella Autodeskin AutoCAD:iä, koska sitä käyttämällä voidaan tuottaa tarvittavat 2D-piirustukset vähäisemmällä työllä verrattuna 3D-mallinnukseen. Projektin alkupuolella piirretään esimerkiksi alue-layout

ja voidaan hahmotella taso-layouttia. Projektin edetessä pidemmälle siirrytään käyttämään PDMS-ohjelmaa AutoCAD:in rinnalla.

PDMS on Aveva Groupin valmistama suunnitteluohjelmisto. Se on tietokantapohjainen suunnitteluohjelmisto, toisin kuin monet muut CAD-ohjelmat. Käyttäjä ei joudu suunnittelemaan komponenttien 3D-malleja, vaan ohjelma sisältää erilaisia valmiita komponentteja, joista malli rakennetaan. Ohjelma järjestee mallin komponentit hierarkkiseen rakenteeseen. Hierarkkinen rakenne mahdollistaa useiden ryhmien suunnittelevan laitoksen eri osa-alueita häiritsemättä toisiaan. (Parisher 2011, s. 314-316)

PDMS:n skaalautuvuus on suuri etu, koska yhtä mallia voivat käyttää jopa kymmenet suunnittelijat yhtäaikaisesti. Lisäksi ohjelmasta voidaan tulostaa erilaisia listoja ja piirustuksia. Ohjelma on myös mahdollista mukauttaa laajasti käyttäjän tarpeisiin esimerkiksi tarkoitusta varten luoduilla makroilla. Valmiit komponentit voidaan lisätä malliin PDMS:n kirjastosta, joka sisältää erilaisten kansallisten ja kansainvälisten standardien mukaisia osia. (Aveva, 2013)

5.2 Putkiston suunnitteluprosessi Metsolla

Kattilalaitoksen suunnittelu alkaa jo ennen varsinaisen sopimuksen allekirjoittamista, koska kilpailukykyisen ja kannattavan tarjouksen laatiminen edellyttää, että eniten kustannuksia aiheuttavat järjestelmät on mitoitettu riittävällä tarkkuudella. Tarjousvaiheessa mietitään lähinnä laitoksen eri osien paikkoja ja kattilalaitoksen kokoa sekä sijaintia suhteessa muihin rakennuksiin, teihin ja polttoaineensyöttöön. Putkista keskitytään korkeintaan päähöyryputkeen ja laitokseen mahdollisesti liittyviin kaukolämpöputkiin. Putket ovat kuitenkin nykyisessä suunnitteluprosessissa toissijaisia verrattuna moneen muuhun kattilalaitoksen järjestelmään. Muun muassa savukaasujen puhdistus, ilmakanaavat sekä polttoaineen syöttö ovat layoutin kannalta tässä vaiheessa tärkeämpiä järjestelmiä. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Pienemmissä laitoksissa kattilarakennuksen sisällä olevien järjestelmien layouttia ei suunnitella yksityiskohtaisesti vielä tarjousvaiheessa. Kuitenkin pienempiä laitoksia suunniteltaessa on otettava huomioon, että niistä ei saa suunnitella liian ahdasta, jotta rakentaminen ja jatkosuunnittelu eivät monimutkaistu kohtuuttomasti. Vastaavaa ongelmaa ei ole isommilla laitoksilla, koska siellä on luonnostaan enemmän tilaa, kun ihmiset vievät suhteessa kaikkeen muuhun vähemmän tilaa. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Asiakkaan tarjouspyyntö pitää yleensä sisällään tiedon alueesta, jolle kattilalaitos on tarkoitus sijoittaa. Myös toimituslaajuuteen kuuluvat muut asiat on usein lueteltu ja määriteltä. Esimerkiksi vaadittava höyrynpaine ja -tuotto sekä muita vastaavia asioita on yleensä kerrottu tarjouspyynnössä. Osassa vaadittavista parametreista on enemmän joustovaraa kuin toisissa. Toisaalta asiakas voi lähestyä Metsoa myös huomattavasti suppeammilla tiedoilla, asiakkaalla saattaa olla selvillä vain käytettävä polttoaine ja Metson tehtävänä on tarjota paras ratkaisu sen polttamiseen. Pääsääntöisesti kattilalaitoksen sisällä olevia järjestelmiä ei siirrellä, jos niiden siirtelyllä on vaikutusta kattilalai-

toksen ulkopuolella sijaitsevien järjestelmien alue-layouttiin. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Putkiston suunnitteluprosessin kuvausta varten haastattelemani Kari Henttonen on ollut useiden eri projektien työmailla töissä, mistä on ollut hyötyä, kun tietoa on siirtynyt suunnittelusta työmaalle ja toisinpäin. Paremman yhteistyön ansiosta esimerkiksi vesipainekokeen suunnittelu on parantunut, koska vesipainekoetta varten putkiston on oltava riittävän valmis ja siinä on oltava valmiina ylimääräisiä ilmauksia ja tyhjennyksiä. Erityisen tärkeää on myös putkiston valmistuminen tietyssä järjestyksessä, jotta painekoe voidaan tehdä aikataulun puitteissa. Putkistosta on myös pystyttävä erottamaan osia, joita ei ole tarkoitus testata. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Toisaalta ongelmia on edelleen laitteiden tietojen riittävän aikaisessa saamisessa. Monet laitteet, kuten syöttövesipumput, tilataan riittävän ajoissa työmaalle, mikä ei riitä suunnittelun kannalta. Suunnittelu tarvitsee tietoja liittymispaikkojen mitoista ja materiaaleista, jotta putkistoa ei tarvitse suunnitella arvausten varassa. Vielä tilaushetkellä kyseisiä tietoja ei välttämättä ole saatavilla, koska pumput ovat projektikohtaisesti tilattavia tuotteita. Pumppujen valmistaja ei tiedä tarkkoja mittoja tai käytettäviä materiaaleja, koska valmistajan on mitoitettava pumppu juuri kyseistä tapausta varten. Siksi olisi tärkeää, että kaikki laitteet tilattaisiin riittävän aikaisin, jotta niiden tiedot olisivat käytettävissä jo suunnitteluvaiheessa. Suunnittelussa tehdyt arvaukset aiheuttavat turhaa revisiointia, kasvattavat erehdyksen riskiä ja kuluttavat turhaan aikaa sekä rahaa. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Kattilalaitoksen noin DN50 kokoa suuremmat korkeapaineputket esivalmistetaan, pienemmät voidaan taivuttaa työmaallakin. Työmaalla esivalmistus tapahtuu teltassa tai parhaimmillaan hallissa ja esivalmistuksen olosuhteista riippuu, kuinka suuri osa työstä tehdään varsinaisessa kohteessa. Varsinaisessa kohteessa tapahtuvaa ylimääräistä asennustyötä pyritään välttämään, koska kohteessa on paljon eri aliurakoitsijoiden työntekijöitä, ahdasta ja rakennustelineiden pystyttäminen on kallista. Verstaalla tehtävään työhön kuuluu muun muassa yhteiden koneistaminen ja istutusten tekeminen. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Metson ulkopuolelta tilattavat esivalmistetut korkeapaineputket voidaan tilata eri valmistajilta, joita sijaitsee ympäri maailmaa. Edellytyksenä ulkopuolisen valmistajan käyttämiselle on, että valmistaja voi putkistojen lisäksi toimittaa mukana tarvittavat todistukset (esimerkiksi painelaitedirektiivin mukaiset materiaalitodistukset) ja muun tarvittavan dokumentaation. Esivalmistaja saa itse ehdottaa, miten putket jaetaan kuljetettaviin kokonaisuuksiin. Esivalmistaja lähettää ehdotuksensa Metsolle, jossa se hyväksytään tai siihen pyydetään tarvittavia muutoksia. Putkisten fyysisten osien kokoa rajoittavat valmistusmenetelmä, asennusmahdollisuudet ja kuljetuskonttiin mahtuminen. Metso toimittaa esivalmistajalle tiedon käytettävien konttien koosta, jotta osista ei tule liian isoja. Esivalmistaja myös numeroi putket, jotta ne ovat erotettavissa toisistaan työmaalla. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Asentamisen kannalta materiaalien yhteensopivuus on tärkeää, koska putket on pystyttävä liittämään toisiinsa ja venttiileihin hitsaamalla. Hitsaaminen ei ole mahdollista, jos

materiaalit ovat liian erilaisia. Jos kuitenkin työmaalla huomataan, että esimerkiksi venttiilin yhde ja putki ovat liian erilaisista materiaaleista valmistettuja, niin väliin voidaan lisätä pätäkä putkea, joka on sellaista materiaalia, että se sopii hitsattavaksi molempien kanssa. Väliin lisättävää lyhyttä putkea kutsutaan sormukseksi. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Pienten putkien seinämävahvuuksien optimoinnilla ei ole saavutettavissa suurta rahallista säästöä, joten käytettävien eri seinämävahvuudella olevien putkien määrän pitäisi olla rajallinen. Vaikka jouduttaisiin välillä käyttämään seinämävahvuudeltaan liian suurta putkea, niin säästöä syntyy silti logistiikassa, kun työmaalla ei tarvitse varastoida niin suurta määrää erilaisia putkia. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Kattilalaitoksissa on yleensä kaksi erillistä paineilmaverkkoa, instrumentti-ilma ja työilma. Instrumenttien paineilma on kattilan ajamisen kannalta tärkeämpi, koska kattila joudutaan ajamaan alas, jos instrumentti-ilmaverkossa ei ole riittävästi painetta. Syynä tähän on, että osa venttiileistä on paineilmatoimisia, eikä niitä voi ohjata ilman paineilmaa. Kattilaa voidaan käyttää ilman työilmaa, koska työilmaa käytetään esimerkiksi savukaasujen puhdistuksen pussien puhdistamiseen tuhkasta. Työilmaa ei siis tarvita jatkuvasti, joten se on järkevää erottaa omaksi verkokseen. Jos kattilalaitoksessa olisi vain yksi paineilmaverkosto, niin paineen laskiessa vikatilanteessa, pitäisi työilman käyttö saada estettyä automaattisesti, että ilmaa riittäisi toimilaitteille. Nykyisellään on tavoitteena, että molemmat paineilmat ja palovesi nousevat porrastornien vierellä. Paloveden jakopisteiden paikat tulevat määräyksistä ja paineilmat on kätevinä jakaa kerrokseen muutamasta eri putkinoususta. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Layoutin kannalta soodakattila on vakioitunut melko hyvin. Kiertoleijukattiloissa on enemmän vaihtelua kuin leijupetikattiloissa. Yksityiskohtana voidaan mainita hiekkatulistimen vaihtotilan suunnittelu: eräässä projektissa prosessiputket menevät vaihtoon tarvittavassa tilassa, joten putkiin on lisätty laipat, jotta ne voidaan purkaa pois tieltä. Tämä ei ole ongelma, koska hiekkatulistin vaihdetaan yleensä vain noin 7 vuoden välein ja se on suhteellisen iso työ, joten putkien purkaminen pois tieltä ei aiheuta kohtuuttomasti ylimääräistä työtä. Putkille on kuitenkin tehtävä tiiveyskoe katkaisun jälkeen, että voidaan varmistua niiden tiiveydestä. Tiiveyskoetta ei yleensä tässä tapauksessa tehdä vedellä, vaan ilmalla tai typellä. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Alustava suunnittelu perustuu osittain suunnittelijan kokemukseen ja osittain vanhoihin projekteihin. Kokemusta voi hyödyntää esimerkiksi venttiilien paikkoja ja mittoja suunniteltaessa, jos tarkkoja tietoja käytettävistä venttiileistä ei ole. Tietojen tarkentuessa myös suunnittelupaine ja -lämpötila voivat muuttua. Vanhoja projekteja voi hyödyntää katsomalla vanhoista malleista tietoja tai joissain tapauksissa kopioimalla sopiva osa vanhaa putkistoa uuteen malliin. Vanhojen mallien käyttäminen nopeuttaa suunnittelua, mutta myös vanhassa mallissa olevat viat kopioituvat uuteen malliin, jos mallia ei tutki kriittisesti. (Haastattelut Metsolla, 2013)

PI-kaaviot ovat putkistosuunnittelun kannalta yksi tärkeimmistä dokumenteista. Niistä nähdään putkistojen liitännät muihin komponentteihin ja putkien liittyminen toisiin putkiin. Putkistosuunnittelun alussa mallinnetaan isot putket ensin, koska niillä on pidem-

mät toimitusajat ja niitä on päästävä asentamaan mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Raskaimmat putket vaikuttavat myös rakennesuunnitteluun, koska ne kuormittavat kiinnityskohtia niin paljon, että kuormitukset on otettava huomioon rakenteita mitoittaessa. Siksi sekundääriskannakkeet on syytä suunnitella riittävän ajoissa. Rakennusvaiheessa on hyvä, jos painavien putkien sekundääriskannakkeet voidaan hitsata paikalleen ajoissa. Tällöin ne voidaan maalata hitsaamisen jälkeen eikä maalipinta kärsi hitsaamisesta. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Putkistosuunnittelu tapahtuu yhteistyössä monien muiden laitossuunnittelun osa-alueiden kanssa. Layout-suunnittelun kanssa yhdessä voidaan etsiä parhaita mahdollisia paikkoja putkistoon kiinnittyville kokonaisuuksille. Esimerkiksi ulospuhallussäiliön paikkaa voidaan joutua muuttamaan, jos putket eivät mahdu kiinnittymään siihen järkevästi. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Rakennusvaiheessa suurin osa putkista kootaan hitsaamalla ne yhteen. Putkia voidaan esivalmistaa rakennustyömaan läheisyydessä tai ne on voitu tilata erikseen ulkopuoliselta toimittajalta. Tilausta tehtäessä hitsauspaikkoja voidaan joutua muuttamaan, että esivalmistettavat kokonaisuudet on mahdollista valmistaa alihankkijan toimesta. Korkeapainepuolella venttiilit hitsataan kiinni putkiin, matalapainepuolella pienemmät putket hitsataan ja suuremmissa voidaan käyttää laippaliitoksia. Höyryventtiilit hitsataan kuitenkin lähes aina. Rakennusvaiheessa kattilaan suoraan liittyvät putkistot koeponnistetaan niiden valmistumisen jälkeen. Vasta koeponnistuksen jälkeen voidaan alkaa rakentaa muita ympärille tulevia putkia. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Putkistojen jännitysanalyysien tekoon käytetään FEMdatan FINNSAP-ohjelmistoa. Ohjelmaan voidaan tuoda putkiston malli suoraan PDMS:tä, mutta monet määrittelyistä joudutaan tekemään käsin, koska ne eivät siirry automaattisesti. Putkille on määriteltävä tarkat mitat, käytettävä materiaali sekä siirrettävän aineen lämpötila ja paine, jotta jännitysanalyysi voidaan tehdä. Laskennassa joudutaan usein tekemään monta iteraatiota ennen kuin päädytään hyväksyttävään lopputulokseen. Ongelmana on, että jos putkiston geometria muuttuu merkittävästi, niin laskenta joudutaan aloittamaan alusta. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Erityyppisten kattilalaitosten putkistojen määrissä on huomattavia eroja. Soodakattilassa on paljon enemmän erilaisia putkia kuin esimerkiksi leijupetikattilassa. Kiertoleijukattilassa taas on enemmän putkia kuin kerrosleijukattilassa. Kiertoleijukattilassa ilmansyöttö vaatii paljon tilaa, kun taas soodakattilassa lipeän tuonti kattilaan ja talteenotto vaativat ylimääräistä tilaa. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Putkistosuunnittelun loppuvaiheessa kannakesuunnittelu vie huomattavan osan työajasta. Primääriskannakkeet on syytä mallintaa varhaisessa vaiheessa erityisesti matalapaineputkien kohdalla. Jos primääriskannakkeita ei mallinneta putkistoa suunniteltaessa, niin ne joudutaan mallintamaan erikseen. Tästä seuraa helposti kaksinkertainen määrä työtä. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Kattilalaitoksen putkistoja suunnittelee aina useampi henkilö, joten tiedonkulku suunnittelijoiden välillä on tärkeää. Jos esimerkiksi pumpun yhteen laipan koko muuttuu, mutta muutoksesta ei mene tietoa siihen kiinnittyvän putken suunnittelijalle, niin kiinnitys ei

ole yhteensopiva. Tämän takia muutoksen tekijän pitää ymmärtää muutosten vaikutukset ja tietää ketä muutoksista pitää informoida. Tilauksia tehtäessä putket ja niihin liittyvät komponentit tuodaan ulos PDMS:stä listamuodossa, josta mahdolliset yhteensopimattomuudet voi tarkistaa ennen tilauksien tekemistä. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Eri projektit eroavat luonnollisesti kattilalaitoksen tyypin ja koon suhteen, mutta myös projektien vetäjien toimintatavat vaihtelevat. Tämän takia olisi hyvä, jos usein toistuvissa suunnitteluongelmissa olisi olemassa valmiita ratkaisuja, eikä kaikkea tarvitsisi suunnitella eri tavalla eri projekteissa. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Yhtenä esimerkkinä toistuvasta suunnittelutyöstä on syöttövesiputkiston suunnittelu, mikä vie paljon aikaa. Pumppujen valmistajat haluavat suojata pumppuja rasitukselta, joten yhteisiin ei saa kohdistua suuria kuormituksia. Siksi pumppuihin liittyvän putkiston geometria ja kannatukset joudutaan suunnittelemaan huolella ja prosessi sisältää useita iteraatioita ennen kuin hyväksyttävät kuormitukset saavutetaan. (Haastattelut Metsolla, 2013)

5.3 Putkiston kustannukset

Projektin kustannukset muodostuvat muun muassa suunnittelu-, materiaali- ja asennuskuluista. Esisuunnittelun tarkoituksena on nopeuttaa sitä seuraavien suunnitteluvaiheiden työtä sekä säästää materiaali- ja asennuskuluissa. Liitteiden kuvassa 1 on havainnollistettu kokonaiskustannusten jakautumista. Putkiston osuus kattilalaitoksen kustannuksista on merkittävä ja siihen kuuluvat sekä suunnittelukustannukset että materiaali- ja asennuskustannukset. Putkiston suunnittelukustannusten osuus putkiston kustannuksista on alle puolet.

Liitteiden kuvan 1 tulokset on laskettu useiden eri projektien toteutuneiden kustannusten keskiarvojen perusteella. Projektien toimituslaajuudet ja kattilalaitosten tehot poikkeavat jossain määrin toisistaan, joten ne eivät ole täysin vertailukelpoisia. Lisäksi projektien kattilalaitokset sijaitsevat eri maissa, joten kustannustasot eroavat toisistaan. Vähiten eroja projektien välillä on putkiston kokonaiskustannusten osuudessa suhteessa kokonaiskustannuksiin.

Putkisto voidaan jakaa esivalmistettavaan putkistoon ja ei-esivalmistettavaan putkistoon, joka valmistetaan työmaalla tai sen läheisyydessä useimmiten urakoitsijan toimesta. Raskaat putket esivalmistetaan ja pienemmät putket muokataan asennettaviksi paikallaan. Kustannukset ilman putkistovarusteita jakaantuvat eri valmistustapojen välillä keskimäärin tasan valmistustavasta riippumatta, mutta hajonta projektien välillä on suurta.

Venttiilien hinnat lasketaan putkiston kokonaiskustannuksiin ja niiden osuus kokonaiskustannuksista on keskimäärin neljännes. Putkistosuunnittelun näkökulmasta venttiilien kustannuksiin on vaikea vaikuttaa, koska prosessisuunnittelu päättää venttiilien määrät ja niiden koot määräytyvät virtausmäärän perusteella. Tämä tarkoittaa, että se osuus putkiston kokonaiskustannuksista, joihin putkistosuunnittelu voi todellisuudessa vaikuttaa, on pienempi kuin liitteiden kuva 1 antaa ymmärtää. Kun putkiston kustannuksista

yritetään säästää, niin onnistumista arvioitaessa on otettava huomioon, että kaikkiin kustannuksiin ei putkistosuunnittelun näkökulmasta voi vaikuttaa.

Projektista riippumatta suurimmat kustannukset aiheutuvat painerungosta, johon kuuluu muun muassa kattila itse, lämmönsiirtimet, lieriö sekä painerungon putkisto. Muiden kustannusten suuruusjärjestys vaihtelee projektista toiseen. Suuri osa kustannuksista syntyy erilaisista laitteista ja järjestelmistä, kuten pumpuista ja puhaltimista sekä savukaasujen puhdistuksesta. Samaa suuruusluokkaa ovat myös kattilarakennuksen rakentamisesta ja suunnittelusta aiheutuvat kustannukset.

Putken materiaalin metrihinta määräytyy käytettävän materiaalin, putkikoon ja seinämävahvuuden perusteella. Runsasseosteiset materiaalit ovat huomattavasti kalliimpia kuin niukkaseosteiset, mutta suunnittelulämpötilan kasvaessa niukkaseosteisten materiaalien ominaisuudet eivät enää ole riittäviä. Taulukkoon 5.1 on kerätty muutamia eri esimerkkejä kattilalaitoksessa käytettävistä putkista ja niiden hinnoista. Materiaalin suhteellisen metrihinnan laskemisessa on tehty oletus, että putkisto tilataan suoraan valmistajalta, jolloin pienin mahdollinen toimituserä on noin 5 tonnia. Pienemmät erät tilataan yleensä tukkuliikkeen kautta, jolloin materiaalin metrihinta euroissa olisi suurempi kuin taulukossa ilmoitettu.

Taulukko 5.1. Metrihinnat ovat pelkälle putkimateriaalille.

Materiaali	Putkikoko (DN ja mm)	Materiaalin suhteellinen metrihinta	Esimerkki käyttökohteesta
P235GH	DN50 60,3x2,9	1	Matalapainehöyry
P235GH	DN100 114,3x3,6	2,7	Matalapainehöyry
P235GH	DN150 168,3x4,5	5,1	Matalapainehöyry
P235GH	DN200 219,1x6,3	9,6	Matalapainehöyry
AISI304L	DN25 33,7x2,0	2	Paineilmat
AISI304L	DN50 60,3x2,0	3,6	Paineilmat
AISI304L	DN80 88,9x2,0	5,5	Paineilmat
AISI304L	DN150 168,3x2,0	11	Paineilmat
16Mo3	DN300 323,9x7,1	18	Päähöyryn varoventtiilien ulospuhallus
13CrMo4-9	DN350 355,6x25,0	85	Päähöyry
10CrMo9-10	DN350 355,6x25,0	103	Päähöyry
X10CrMoVNb9-1	DN350 355,6x25,0	290	Päähöyry

Putkimateriaalin hinta on vain osa asennetun putkiston hinnasta. Suorista putkista täytyy ensin muokata sopivan muotoisia ja mittaisia kappaleita, jonka jälkeen putkisto tarvitsee asentaa kannakkeineen. Alla olevassa taulukossa 5.2 on esimerkki putkiston asennuskustannuksista metriä kohden. Taulukkoa lukiessa on otettava huomioon, että tässä tapauksessa asennuskustannukset sisältävät vain putken asentamisen, materiaalit tai kannakkeiden asentaminen ei sisälly hintaan.

Taulukko 5.2. Suhteelliset asennushinnat metriä kohden.

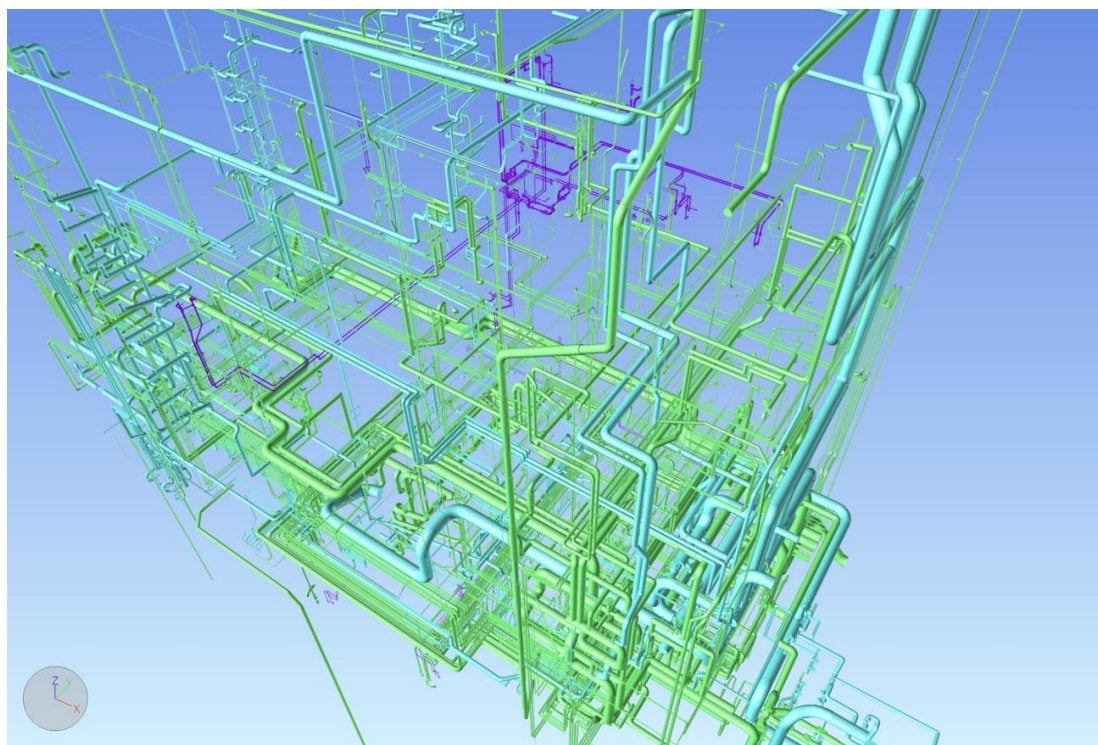
Materiaali	Putkikoko	Suhteellinen asennushinta
P235GH	DN50	1
AISI304L	DN25	0,80
X10CrMoVNb9-1	DN250	12
16Mo3	DN300	8

Taulukoista nähdään, että pienemmissä putkissa asennuskustannusten suhteellinen osuus on suurempi ja suuremmissa pienempi. Putkiston koosta ja materiaalista riippuen linjakohtainen vaihtelu hinnassa on kuitenkin huomattavaa, kuten taulukoista nähdään.

Putkiston osuus kokonaiskustannuksista ei ole prosenteissa suuri, mutta koska pienetkin kattilalaitokset maksavat miljoonia euroja, niin pienillä prosentuaalisilla säästöillä voidaan saavuttaa suuria euromääräisiä säästöjä. Nyt erityishuomiota on kiinnitetty enemmän kalleimpien putkilinjojen reittien optimointiin, mutta myös halvemmissa putkissa on saavutettavissa säästöjä. Putkistojen lisäksi säästöjä voidaan saavuttaa suunnittelussa, mikä edellyttää suunnitteluprosessin kehittämistä.

5.4 Putkiston nykytilan analysointi

Kattilalaitoksen putkistojen layoutin optimointi on tärkeää, koska putkistot ja niiden suunnittelu ovat merkittävä kustannustekijä. Putkistot vievät myös huomattavan osan kattilarakennuksessa vapaana olevasta tilasta kattilan ja siihen suoraan liittyvien järjestelmien mallintamisen jälkeen. Kuvassa 5.1 on kuvankaappaus Navisworks-ohjelmasta, jossa on valittu näytettäväksi kaikki kattilalaitoksen putket, mutta kaikki muu on jätetty piirtämättä.



Kuva 5.1. Kuvankaappaus kattilalaitoksen putkistoista Navisworks-ohjelmasta.

Asennustyön kalleuden takia suunnittelussa kannattaa pyrkiä ratkaisuihin, jotka laskevat asennuskustannuksia. Asennuskustannusten laskeminen onnistuu ensisijaisesti minimoimalla putkiston massaa sekä välttämällä liian monimutkaisia ratkaisuja esimerkiksi putkiston kannatuksessa. Eli asentamisen kustannukset laskevat yleensä putkiston materiaalikustannusten laskiessa.

Putkien mitoituksen kannalta tärkeimmät parametrit ovat paine ja lämpötila, mutta myös putkessa liikkuvalla aineella sekä sen faasilla (tai faaseilla, monifaasivirtauksen tapauk-

sessä) on merkitystä. Tyypillisesti kattilalaitoksen putkistossa voi virrata vettä, höyryä, paineilmaa, erilaisia polttoaineita, kuten polttoöljyä ja maakaasua, ammoniakkaa, natriumhydroksidia sekä muita prosessin tarvitsemia kemikaaleja.

Seuraavissa alakappaleissa on esitelty esisuunnittelun kannalta oleelliset kattilalaitoksen putkistot. Putkiston tärkeys suunnittelun kannalta voi johtua putkiston kalliista hinnasta tai sen vaatimasta tilasta. Myös putkistoon liittyvien laitteiden tilankäyttö on huomioitava putkistoa suunniteltaessa.

5.4.1 Syöttövesiputkisto

Halkaisijaltaan suurimmat putket liittyvät yleensä syöttövesijärjestelmään sekä höyryn kuljettamiseen. Syöttövesipumput ovat aina rakennuksen alimmassa kerroksessa, koska pumppujen imupuoli tarvitsee riittävän korkeuseron syöttövesisäiliöön nähden, että pumput eivät kavitoisi. Lieriö taas sijaitsee kattilarakennuksen yläosassa, joten syöttövesiputkiston on mentävä alhaalta ylös asti kiertäen syöttöveden esilämmityksen kautta. Vakio-layoutin luominen koko syöttövesiputkistolle on vaikeaa, koska pumppujen sijainti suhteessa lieriöön ja syöttöveden esilämmitykseen vaihtelee, joten myös syöttövesiputkiston reititys vaihtelee projektista toiseen.

Toisaalta syöttövesiputkistossa on tiettyä toistuvuutta projektista toiseen. Syöttövesitankki sijaitsee yleensä suoraan pumppujen yläpuolella, joten pumppujen imupuolen reititys ei poikkea suuresti eri projektien välillä. Pumputta syöttövesitankille lähtevät minimivirtausputket menevät myös suoraan pumppujen painepuolelta takaisin tankille. Näiden syöttövesipumppujen ja -tankin välillä menevien putkien koko vaihtelee projektista toiseen, mutta kannatuksessa ja reitityksessä on havaittavissa enemmän yhtäläisyyksiä kuin eroja.

Minimivirtausputket ovat siinä määrin pienempiä kuin syöttövesipumppujen imu- ja painepuolen putket, että ne eivät vaadi niin raskasta kannatusta. Niillä on yleensä kynsiohjaus ja vaakasuoran osuuden jälkeen ne hyödyntävät samoja sekundäärirakennuksia nousussa syöttövesitankille. Jos pumpun painepuolelta tulee kaksi eri minimivirtausputkea, niin ne yhdistyvät venttiilien jälkeen yhdeksi putkeksi.

Syöttövesipumppujen ja -säiliön välisen putkiston muodostama kokonaisuus vie huomattavasti tilaa kattilarakennuksesta ja sen suunnittelu vie paljon aikaa. Esisuunnittelun avulla voidaan pyrkiä mahdollisimman vakioituneen kokonaisuuden suunnitteluun sekä suunnitellun kokonaisuuden mallintamiseen jollakin tarkkuudella jo esisuunnitteluvaiheessa. Riittävän aikaisen mallintamisen ansiosta putkiston ja sen kannatuksen vaatima tilantarve selviäisi myös muille samalla alueella suunnittelutyötä tekeville ihmisille. Lisäksi putkiston reititys voitaisiin ottaa huomioon terärakennetta ja kannatusta suunniteltaessa.

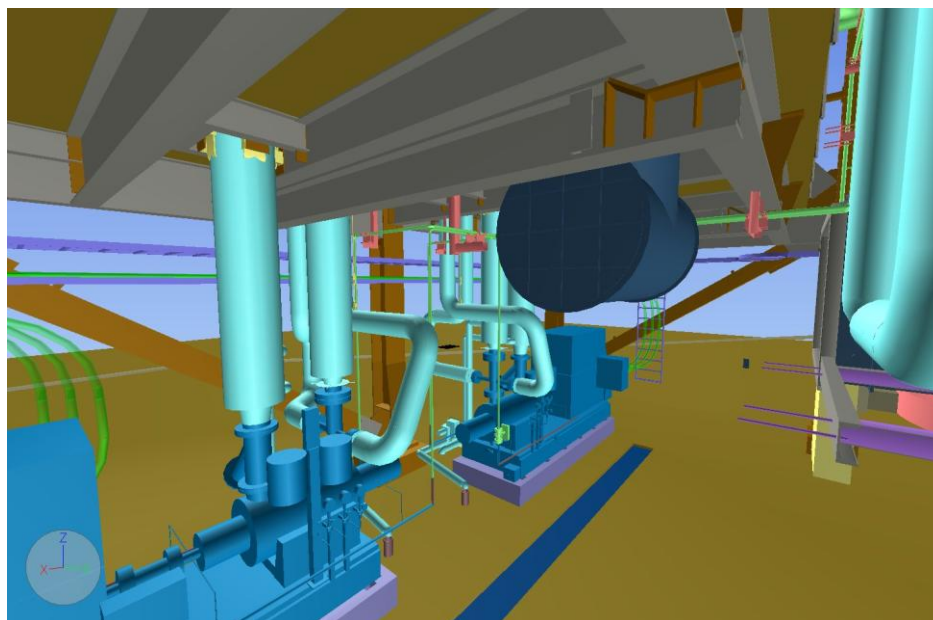
Pumppujen valmistajat ovat tarkkoja pumppuihin kohdistuvista kuormituksista, joten ennen pumppua on yleensä nelipuolinen tuenta kahdella eri korkeudella, minkä tarkoituksena on estää taivutusmomentin siirtyminen putkia pitkin pumpun yhteisiin. Momentin siirtymisen lisäksi halutaan estää putkien massasta ja lämpölaajenemisesta aiheutu-

vien voimien siirtyminen. Tätä tarkoitusta varten putkissa on yleensä jousikannatus. Jousikannatus voi sijaita joko nelipuolisten ohjausten välissä tai niiden yläpuolella.

Putkiston kannatuksesta aiheutuvat voimat siirtyvät sekundäärikannakkeiden kautta rakenteisiin. Rakennesuunnittelijat haluavat tietää rakenteisiin kohdistuvat voimat mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, koska teräsrakenne on yksi ensimmäisistä rakennettavista kokonaisuuksista. Putkistosta aiheutuvat kuormat ovat kuitenkin suhteellisen pieniä, joten aluksi kuormien tarkkaa suuruutta tärkeämpää on tietää paikka, johon kuormitukset kohdistuvat. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Pumppujen yläpuolella olevat kaksi tasoa ovat kannatuksen kannalta tärkeitä, koska putkisto halutaan tukea riittävän läheltä pumppuja. Siten myös kannatuksesta aiheutuvat kuormitukset kohdistuvat aina pumppujen yläpuolella oleviin kahteen seuraavaan tasoon. Pumpun imu- ja painepuolen putket (minimivirtausputkia lukuun ottamatta) eivät yleensä tee mutkia lähellä pumppuja, vaan nousevat suoraan ylöspäin, joten rakenteisiin kohdistuvien kuormitusten paikat voidaan tietää suurella varmuudella jo pumppuja sijoitettaessa.

Tiivein kannatusratkaisu syöttövesiputkistolle on sijoittaa nelipuoliset kannatukset ensimmäiselle ja toiselle tasolle sekä jousikannatus niiden väliin. Toisaalta ensimmäinen taso voi olla korkeammalla, kun alempi ohjaus on rakennettu sekundäärikannakkeiden avulla ensimmäistä tasoa alemmaksi. Huonona puolena ratkaisussa on työmäärä ja ylimääräiset sekundäärikannakkeet. Kuvassa 5.2 syöttövesiputket on kannakoitu ensimmäisen tason korkeudelta.



Kuva 5.2. Kuvassa näkyvät syöttövesipumput ja niihin liittyvät putket.

Reitittämällä osa syöttövesijärjestelmän putkista jo esisuunnittelun aikana voitaisiin säästää sekundäärikannakkeissa, koska teräsrakennesuunnittelu pystyy ottamaan huomioon putkien reitin riittävän aikaisin, jolloin primäärikannakkeet voidaan tukea suoraan teräsrakenteeseen. Imupuolen putki voidaan reitittää säiliöltä pumpulle asti, jos

pumpun ja säiliön yhteiden paikat ovat tiedossa. Painepuolen putkisto voidaan suunnitella alustavasti EKO:lle asti, jos EKO:a edeltävän venttiiliryhmän sijainti on päätetty. Esilämmityksen jälkeisessä reitityksessä on paljon eroavaisuuksia eri kattilalaitosten välillä. Kattilarakennuksen yläosassa menevä putken osuus voi mennä kattilan ripustuksien päällä, sivulla tai alla. Vastaavasti putken kannatus vaihtelee. Kattilan kannatinpalkkien alapuolella meneville putkille käytetään yleensä riippukannatusta ja yläpuolella meneville putkille yleensä alapuolista liukukannatusta. EKO:n jälkeisen putkiston esisuunnittelusta voisi olla hyötyä suunnitteluratkaisujen vaihtelun vähentämisessä, jos putkelle päätettäisiin vakioireitti kattilarakennuksen yläosassa. Vakioireitti voisi kulkea pääosin kattilan ripustuksien päällä, jolloin putki voitaisiin tukea alapuolelta.

5.4.2 Päähöryputki

Tulistimien jälkeen alkaa päähöryputki, joka menee turbiinille. Paineen ja lämpötilan takia päähöryputken seinämävahvuus on suuri verrattuna muihin putkistoihin. Päähöryputken reititys riippuu turbiinirakennuksen sijainnista suhteessa kattilarakennukseen. Päähöryputkessa on aina kaksi varoventtiiliä, joilta lähtevät ulospuhallusputket menevät rakennuksen katolle. Varoventtiilien ulospuhallusten lisäksi päähöryputkelta katolle menee kattilan käynnistykseen yhteydessä käytettävän venttiilin ulospuhallusputki. Prosessin ylösajovaiheen yhteydessä höyryä puhalletaan ulos eikä johdeta turbiinille, kuten normaalisti käytön aikana.

Varoventtiilien ja käynnistysulospuhallusventtiilin jälkeen on sulkuventtiili, jolla kattilaan kiinteästi kuuluva putkisto voidaan erottaa omaksi kokonaisuudekseen. Tällä on merkitystä esimerkiksi painekokeen kannalta, koska kattilaa koskevat säädökset eroavat muista putkistoista (Haastattelut Metsolla, 2013). Kattilan putkiston painekoe tehdään mahdollisimman varhaisessa vaiheessa projektia, joten painetestattava osuus on myös suunniteltava ja asennettava ennen muita putkistoja. Kattilan putkistoon kuuluviin putkiin lasketaan kaikki syöttövesiputken viimeisen sulkuventtiilin jälkeiset putket aina päähöryyn sulkuventtiilille asti.

Päähöryyn venttiilit ryhmitellään kaikissa projekteissa putken suoralle osuudelle tiiviiksi kokonaisuudeksi, mutta mitoituksen suhteen eroja on enemmän kuin yhtäläisyyksiä, koska kattilalaitokset eroavat toisistaan muun muassa teholtaan. Päähöryputki pyritään optimoimaan huolellisesti, koska se on metrihinnaltaan kalleinta kattilalaitoksessa käytettävistä putkista. Tilantarpeen ja kalleutensa takia päähöryputkiston reititys on suunniteltava huolella jo esisuunnittelun aikana.

Päähöryputken sijoitussuunnittelu voidaan aloittaa, kun viimeisen tulistimen ja turbiinin sijainti ovat selvillä. Esisuunnitteluvaiheessa on perusteltua mallintaa päähöryputki ja siihen liittyvät ulospuhallusputket sellaisella tarkkuudella, että niihin ei enää tarvitse tehdä merkittäviä muutoksia.

Oikean hinnoittelun edellytyksenä on, että putkiluokka ja metrimäärä ovat tiedossa. Päähöryputken tapauksessa pelkkä metrimäärä ei vielä riitä tarkkojen kustannusten laskemiseen, koska esimerkiksi ylimääräisillä hitsaussaumoilla ja putkimutkillä on kustannuksia kasvattava vaikutus. Yksi ylimääräinen hitsaussauma saattaa kasvattaa asen-

nuskustannuksia tuhansilla euroilla. Jos esisuunnittelun avulla voidaan välttää turhia kustannuksia, niin esisuunnittelukustannukset tulevat helposti säästetyksi asennusvaiheessa.

5.4.3 Nuohoushöyry

Nuohoushöyryä käytetään kattilan sisällä olevien tulistimien puhdistamiseen. Höyry otetaan primääritulistimen jälkeisestä putkesta ja johdetaan ylimmän nuohoimen lähellä sijaitseville venttiileille. Venttiileiden paikka suhteessa ylimpään nuohoimeen on lähes vakio eri projekteissa, mutta varoventtiilin ulospuhallusputken reititys vaihtelee, koska ulospuhalluksen äänenvaimentimen paikka rakennuksen katolla vaihtelee.

Nuohoamishöyryä kuljettavan höyryputken on laskettava ulospuhallussäiliölle asti, jotta vesi ei jää putkeen. Nuohoushöyryputket liittyvät suoraan ulospuhallussäiliön yhteisiin. Putkeen jäävä vesi voisi aiheuttaa paineiskuja, jotka puolestaan voivat johtaa putken tai venttiilien rikkoutumiseen. Paineiskujen aiheuttamisen lisäksi kovalla paineella suuttimista suihkuava vesi voi rikkoa kattilan sisällä olevia putkia (Rayaprolu 2009, s.278).

Nuohoushöyryputkiston suunnittelussa on riittävien laskujen lisäksi otettava huomioon putkiston joustavuus, koska nuohoushöyryputkiston lämpötilanvaihtelut ovat suuria. Nuohoimia käytettäessä putki kuumenee nopeasti ja kun tulistettua höyryä ei käytetä, niin putken lämpötila laskee, kunnes se saavuttaa kattilarakennuksen lämpötilan. Lämpötilanvaihteluista johtuen myös lämpölaajeneminen on voimakasta, joten putkiston geometrian on mahdollistettava putkiston liikkuminen sekä joustaminen ilman suurten jännitysten syntymistä. Putkiston geometrian lisäksi kannatusten on mahdollistettava putkiston lämpölaajeneminen siten, että kannakkeisiin ei kohdistu liian suuria jännityksiä.

Esisuunnittelun kannalta riittää, että nuohoushöyryn venttiilit sijoitetaan oikeaan paikkaan. Varsinaista nuohoushöyryputkistoa ei kannata suunnitella vielä esisuunnitteluvaiheessa, koska nuohoimien tarvitsee olla lopullisilla paikoillaan, että putkistoa kannattaa alkaa suunnitella. Pelkät nuohoimet varaavat kattilan sivuilta niin paljon tilaa, että yleensä niiden viereen ei sijoiteta mitään, mikä voisi olla putkiston tiellä. Siten nuohoimien voidaan ajatella toimivan eräänlaisena tilavarauksena, koska putkisto rakentuu niiden ympärille.

5.4.4 Venttiilit

Venttiilit on aina sijoitettava niin, että niitä pystytään käyttämään ja huoltamaan. Käytännössä se tarkoittaa, että venttiilien vieressä on oltava taso, jolla ihmiset voivat seistä ja venttiilit sijaitsevat sopivalla korkeudella suhteessa tasoon. Tutkituissa kattilalaitoksissa esimerkiksi syöttöveden minimivirtausputkien venttiilit on aina sijoitettu pumppujen yläpuoliselle tasolle. Siten siinä on oltava taso ihmisten kulkua varten ja tason paikka suhteessa pumppuihin pysyy melko vakiona, mikä on hyödyllinen tieto sen suunnittelun kannalta. Myös muut syöttövesipumppujen imu- ja painepuolen venttiilit sijaitsevat yleensä ensimmäisellä tasolla.

Syöttövesipumppujen painepuolelta lähtevä putki menee syöttöveden esilämmityksen kautta lieriölle. Putkesta haarautuu useita eri putkia ennen esilämmitystä ja venttiilit muodostavat yleensä samantyyppisen ryhmän eri kattilalaitoksissa. Venttiiliryhmän sijainti vaihtelee, mutta venttiilit sijaitsevat putken suoralla osuudella tason päällä ja putken kannatus on alapuolinen. Venttiiliryhmä vie paljon tilaa, joten sen sijoittamista on järkevää miettiä jo esisuunnitteluvaiheessa. Jos venttiiliryhmälle löydetään hyvä paikka, niin kannattaa sinne pumpulta tuleva putki mallintaa myös.

5.5 Moduulien sijoittaminen

Moduulien sijoittaminen on osa esisuunnitteluprosessia. Sijoittaminen riittävän aikaisessa vaiheessa mahdollistaa jo olemassa olevien moduulien tehokkaan käytön, kun moduulien sijoittamisen jälkeen muun muassa tieto niiden sijainnista on näkyvillä kaikille. Moduulien sijoittamista ohjaavia reunaehtoja ei ole kovin montaa, mutta moduulien sijainneilla on vaikutusta koko kattilalaitoksen layouttiin ja tätä tietoa tarvitaan myös putkiston suunnittelussa. Toisin sanoen sijoittaminen vaatii vain vähän lähtötietoja, mutta sijoittamisen seurauksena käyttöön saadaan paljon uusia tarvittavia lähtötietoja. Putkiston suunnittelun kannalta tärkeitä lähtötietoja ovat moduulien yhteiden sijainnit ja koot. Putkistosuunnittelu voi hyödyntää lähtötietoja moduulien sijoittamisen jälkeen.

Metson moduulit ovat kattilalaitoksissa käytettäviä osakokonaisuuksia, jotka toistuvat toimituksesta toiseen kohtalaisen samanlaisina. Kyseessä on siis saman elementin käyttö eri kombinaatioissa, joka tässä tapauksessa tarkoittaa, että samaa moduulia voidaan käyttää erilaisissa kattilalaitoksissa. Kattilalaitoksen layout-esisuunnittelu alkaa jo ennen moduulien sijoittamista. Moduulien sijoittaminen mahdollistaa niihin liittyvän putkiston esisuunnittelun aloittamisen. Moduulien mallit löytyvät PDMS-ohjelmasta valmiiksi mallinnettuna, joten ne ovat sijoitettavissa kattilalaitoksen malliin heti haluttaessa. Käytännössä suurin osa teräsrakenteista ja kulkutasoista sekä kattila täytyy olla mallinnettuna, että moduulit on kannattavaa sijoittaa. Toisaalta ennen moduulien varsinaista sijoittamista ne voidaan sijoittaa esimerkiksi pohjatason alle, jolloin projektissa mukana olevat ihmiset näkevät, että mitä moduuleja projektissa tullaan käyttämään jo ennen niiden sijoittamista.

Eri moduulit sijaitsevat kattilarakennuksessa pohjatasolta ylimpien kerrosten tasoille asti. Nykyisin moduulien sijainnit vaihtelevat projektista toiseen, vaikka layoutin vakiointille ei tilankäytön näkökulmasta ole esteitä. Moduulit liittyvät prosesseihin yleensä putkien välityksellä ja usein moduuleja sijoittaessa on tavoitteena minimoida käytettävien putkien pituus. Toisaalta moduulien sijoittamiselle voi olla myös prosessiteknisistä syistä johtuvia vaatimuksia, jotka on myös otettava huomioon.

Esimerkiksi painovoimaisesti tyhjentyvien putkien on laskettava tasaisesti koko matkan haluttuun virtaussuuntaan, joten säiliön on oltava riittävän alhaalla, että putkien reititys sinne on mahdollista. Pumppujen taas on oltava riittävän matalalla suhteessa säiliöön, koska pumpun imupuolella on oltava riittävä paine, että pumppu ei kavitoisi. Laitteiden sijoittaminen on yksinkertaisimmillaan laitteeseen liittyvien putkien kustannusten mi-

nimointia tiettyjen reunaehtojen vallitessa. Käytännössä käytössä olevat työkalut eivät mahdollista optimointia matemaattisessa mielessä, vaan kustannustehokkaiden ratkaisujen löytäminen perustuu suunnittelijoiden kokemukseen.

Optimaalisen paikan tarkka selvittäminen nykyisillä työkaluilla ei ole edes kannattavaa, koska se veisi huomattavasti aikaa ja optimaalisessa paikassa ei todennäköisesti olisi tilaa moduulille. Yleensä moduulit sijoitetaan kartoittamalla mallista mahdolliset vapaat sijoituspaikat ja valitsemalla niistä parhaalta vaikuttava.

Esisuunnittelun tehostamisen kannalta on tärkeää, että valmista suunnittelutyötä hyödynnettäisiin mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Sijoittamalla moduulit malliin oikeille tai vähintään alustaville paikoille on myös niiden vaatimat teräs- tai betonirakenteet mahdollista mallintaa moduulien tarpeita vastaavasti. Oikealla paikalla riittävän aikaisessa vaiheessa sijaitseva moduuli helpottaa myös muiden suunnittelijoiden työtä, kun malliin ei ilmesty paljon tilaa vieviä laitteita suunnittelun ollessa jo pitkällä. Moduulien sijoittamisen lisäksi tämä koskee yleisesti kaikkea mallinnustyötä. Vaikka laitteen tarkka koko ei olisi tiedossa, niin lähes oikean kokoinen laatikko voi varata riittävän tilan ja helpottaa muiden työskentelyä.

Moduulien sijoittamisen tueksi on laadittu liitteistä löytyvä taulukko 1, jossa on lueteltu osajärjestelmiä, joita malliin on sijoitettava ennen kyseistä moduulia. Esimerkiksi moduuli H liittyy tuhkankeräysjärjestelmään, joten sen osien on oltava mallissa paikallaan, jos moduuli H halutaan sijoittaa mahdollisimman lähelle niitä. Mitä enemmän erikokoisia putkia moduulista lähtee eri suuntiin, niin sitä vaikeampaa sen sijoittaminen optimaalisesti on, koska erikokoisten putkien metrihinnat ovat erisuuruisia ja kustannusten arviointi on vaikeaa.

Moduulien sijoittaminen perustuu muun muassa moduuleille tulevien ja sieltä lähtevien putkien metrihinnalla painotettujen yhteispituuksien minimointiin. Liitteistä löytyvässä kuvassa 2 on havainnollistettu moduuleille tulevia ja niiltä lähteviä putkia. Osa moduuleihin liittyvistä putkista on nimetty tarkasti, mutta osa on tilansäästösyistä tiivistetty yleisemmän käsitteen alle. Kuvassa moduuleita on kuvattu laatikoilla ja niihin liittyviä järjestelmiä tai putkia pyöreällä muodolla. Nuolet osoittavat putkessa kulkevan aineen virtaussuunnan.

Edellä olevien tietojen sekä Metson suunnittelijoiden kanssa käytyjen keskustelujen perusteella on laadittu liitteistä löytyvä taulukko 2, jossa on ohjeet moduulien sijoittamiseksi layoutiin. Lisäksi liitteiden kuvassa 3 on kaavio, jossa on havainnollistettu moduulien sijoittamista ja niiden välisiä yhteyksiä. Näiden tietojen avulla moduulit voidaan sijoittaa PDMS-malliin mahdollisimman samanlaisille paikoille projektista toiseen. Suunnitteluprosessin aikajana luvussa olevan esisuunnittelun aikajanasta selviää, että koska moduulit pitää sijoittaa malliin.

Moduuleille ei voida antaa tarkkoja sijainteja etukäteen, koska eri järjestelmien paikat kattilarakennuksessa vaihtelevat projektista toiseen. Käytännössä kattilarakennuksen sisäinen layout elää vielä sopimuksen allekirjoittamisen jälkeenkin, joten myös moduuleja voidaan joutua siirtämään useaan kertaan. Tavoitteena kuitenkin on oltava, että moduulit sijoitetaan kerralla oikeille paikoille. Jos jotain laitetta joudutaan siirtämään, niin

muun muassa siihen liittyvät putket on suunniteltava osittain uudestaan, mikä aiheuttaa turhaa työtä.

Liitteiden taulukosta 2 nähdään, että ainoastaan moduulien B ja F sijoittaminen on helppoa ja tarkasti määriteltyä, koska ne tulevat kiinni toiseen osaan. Moduulia F on kaksi eri varianttia, koska se tulee kiinni erään laitteen molempiin päihin. Variantit ovat toistensa peilikuvia. Moduulista B on olemassa useampia varianteja, joiden pituudet vaihtelevat siihen tulevien liitäntöjen määrän mukaan. Pidempääkin moduulia voidaan käyttää tilanteessa, jossa lyhempi riittäisi, mutta tällöin materiaalia kuluu turhaan. Toisaalta erilaisten varianttien käytöstä on myös ylimääräistä työtä, kun muun muassa valmistuspiirustukset joudutaan aina tekemään uudestaan, jos uusi variantti otetaan käyttöön.

Toisessa päässä erilaisiin järjestelmiin liittyvät putket yhdistyvät suoraan moduuliin A tai moduuliin B, jotka ovat suoraan yhteydessä toisiinsa. Moduulin A on teknisistä syistä sijaittava kattilalaitoksen pohjakerroksessa. Halkaisijaltaan suurimmat moduuliin A liittyvät putket liittyvät putken toisessa päässä syöttövesisäiliöön ja moduuliin E, joten ne halutaan usein sijoittaa samalle puolen kattilaa.

Myös moduuli D ja moduuli F ovat yhteydessä moduuliin A tai tarkemmin sanottuna siihen liittyvään putkeen, eikä suoraan itse moduuliin. Siten moduulien D ja F on mielellään sijaittava samalla puolen kattilaa edellä mainittujen moduulien kanssa, jos niitä yhdistävien putkien halutaan olevan mahdollisimman lyhyitä. Moduuliin A suoraan kiinnittyvän moduulin B sijoittamiseen vaikuttaa moduulin A vieressä olevan tilan riittävyys.

Moduulin C on sijoitettava mahdollisimman lähelle syöttövesisäiliötä ja samalle puolen kattilaa muiden moduulien kanssa, jos mahdollista. Ideaalitilanteessa sen pitäisi sijaita samalla tasolla syöttövesisäiliön kanssa, jotta niitä yhdistävät putket olisivat mahdollisimman lyhyet. Moduuli C liittyy myös muihin järjestelmiin sekä moduuleihin, mutta niiden sijainnilla ei tässä tapauksessa ole vaikutusta moduulin C sijoittamiseen. Siten moduulin C sijoittaminen on suhteellisen yksinkertaista.

Moduuli D sijoitetaan tasolle, joka sijaitsee kaksi kerrosta lieeriä alempana. Tavoitteena on sijoittaa moduuli D samalle puolen kattilaa moduulin A, moduulin C ja syöttövesisäiliön kanssa. Tällöin eri järjestelmiä yhdistäviä putkia ei tarvitse reitittää kiertämään kattilaa, mikä kasvattaa putkien pituutta huomattavasti. Osa putkista kuitenkin liittyy myös kattilan toisella puolen oleviin järjestelmiin, joten pitkiltä putkilta ei täysin voida välttyä. Tavoitteena on kuitenkin sijoittaa kaikki moduulit niin, että niihin liittyvän putkiston yhteispituus minimoituu.

Moduulin E sijainti on sidottu kattilan ylimpien nuohoimien sijaintiin, joten sen sijoittaminen on suhteellisen yksinkertaista, jos ylimpien nuohoimien yläpuolisella tasolla suoraan nuohoimien yläpuolella on tilaa. Moduuli sijoitetaan nuohoimien yläpuoliselle tasolle. Jos kattilan molemmilla puolilla on nuohoimia, niin moduuli sijoitetaan edellä mainittujen moduulien kanssa samalle puolen kattilaa.

Kuljetettava neste tulee moduulille G eräältä venttiiliryhmältä. Moduulit sijoitetaan yhtenä ryhmänä erään kattilan toimintaan liittyvän järjestelmän ja venttiiliryhmän väliselle alueelle mahdollisimman lähelle tuota järjestelmää, koska moduuleille tuleva neste voi-

daan tuoda yhtä putkea pitkin, mutta jokaisesta moduulista lähtee erillinen putki. Siten putkien yhteenlaskettujen pituuksien minimoimiseksi moduulien on sijaittava lähellä järjestelmää, johon ne liittyvät. Toisaalta moduulien on sijaittava tason päällä, joten ne on kannattavaa sijoittaa yhtenä ryhmänä, jotta jokaista moduulia varten ei tarvitse suunnitella erillistä tasoa.

Moduulin H sijoittaminen määräytyy tuhkan siirtämiseen liittyvien laitteiden sijaintien perusteella. Pohjatuhkaruuveja on yleensä eniten, joten niihin liittyviä putkia on myös eniten ja putkien pituuksien minimoimiseksi moduulin on sijaittava mahdollisimman lähellä pohjatuhkaruuveja. Jos pohjatuhkaruuveja on vähemmän kuin yleensä, niin moduulin sijainti on päätettävä tapauskohtaisesti. Tasokorkeudeltaan moduuli H sijaitsee yleensä pohjatasolla.

Liitteiden kuvassa 3 on havainnollistettu eri moduulien suhteellisia tasokorkeuksia suhteessa muihin moduuleihin. Kuvasta nähdään myös moduulien yhteydet toisiinsa sekä valittuihin muihin järjestelmiin.

Kuten liitteiden kuvasta 3 nähdään, niin kaikki moduulit eivät ole yhteydessä toisiinsa. Moduulit myös sijaitsevat hajallaan kattilarakennuksessa eri korkeuksilla. Toisaalta osa moduuleista on yhteydessä toisiinsa, jolloin ne kannattavaa sijoittaa samalle puolen kattilaa. Kuvaan ei ole piirretty kaikki putkia, vaan ainoastaan suurimmat yhdistävistä putkista on piirretty. Kuvasta puuttuu muun muassa huomattava määrä ilmaus- ja tyhjenysputkia. Esisuunnitteluvaiheessa voidaan alustavasti suunnitella putkien käyttämiä reittejä. Esireititettävät putket on merkitty kuvaan 3 katkoviivalla.

Yhteenvetona moduulien sijoittamisesta voidaan sanoa, että ohjeista huolimatta niiden sijoittamisesta vastaavan layout-suunnittelijan on aina otettava huomioon mahdolliset projektikohtaiset sijoittamiseen vaikuttavat tekijät. Tarkoituksena on suunnitella toimiva layout, joka on myös kokonaisuutena mahdollisimman edullinen, mikä voi edellyttää ohjeista poikkeamista. Toisaalta jos ohjeista poiketaan aina, kun niiden noudattaminen on vaikeaa, niin kattilalaitoksen layoutin vakiointi ei onnistu. Ohjeiden laatimiseksi on tutkittu neljää eri kiertoleijukattilalaitosta ja hyödynnetty useiden suunnittelijoiden asiantuntemusta. Ohjeiden toimivuudesta muiden kuin kiertoleijukattiloiden suunnitteluun ei ole varmuutta.

5.6 Tilavaraukset

Sijoittamalla valmiiksi mallinnetut moduulit riittävän aikaisessa vaiheessa malliin voivat muut suunnittelijat ottaa niiden sijainnin huomioon omassa suunnittelutyössään. Vastaavaa periaatetta noudattaen putkistoa varten malliin voidaan luoda tilavarauksia käyttämällä PDMS-ohjelmassa jo olemassa olevaa työkalua, jos samaan aukkoon on tarkoitus mallintaa useita putkia kannatuksineen. Toinen vaihtoehto on mallintaa suora putki sylinterin muotoisella kappaleella, jolle määritetään tilavarauksia ominaisuuksilla, jolloin muut suunnittelijat ymmärtävät sen funktion. Pelkän sylinterin käyttö mallinnuksessa on nopeampaa kuin oikean putken, koska sille ei tarvitse määritellä kaikkia putken ominaisuuksia. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Jos osaa putkista halutaan esisuunnitteluvaiheessa kuvata pelkillä sylintereillä, niin PDMS-ohjelman hierarkiaan on järkevää tehdä sylintereille oma "site", johon tilavaraukset kerätään. Tällöin esimerkiksi Navisworks-ohjelmalla kattilalaitoksen mallia tutkiva toinen suunnittelija tietää sylinterin valittuaan, että kyseessä ei ole oikea putki tai rakennuksen osa. (Haastattelut Metsolla, 2013)

Putkiston tilavaraukset voivat vähentää putkiston suunnitteluun kuluva kokonaisaikaa, kun muutosten tarve vähenee, koska kaikki näkevät mihin putkia ollaan suunnittelemassa. Mahdolliset tilankäytölliset ristiriidat voidaan ratkaista jo esisuunnitteluvaiheessa, eikä vasta siinä vaiheessa, kun putkisto on jo mallinnettu. Lisäksi mutkittelevan putkiston sijaan voidaan suosia suoria putkiväyliä, mikä vähentää materiaali- ja asennuskustannuksia.

Tilavarausaukkojen käyttämisen etuna verrattuna putkien esireititykseen layout-putkiluokalla on, että varatussa tilassa kulkevien putkien koosta tai määrästä ei tarvitse olla varmuutta. Jos putki halutaan reitittää alustavasti, niin suunnittelijan on arvattava putken koko ja sen käyttämä putkiluokka, koska tietoa ei ole saatavilla vielä esisuunnittelun aikana. Tilavarauksen mallintaminen on myös nopeampaa, mikä on etu, koska esisuunnittelun aikana tehty työ menee hukkaan, jos Metson tekemä tarjous ei voita. Siksi ei ole kannattavaa alkaa mallintaa yksittäisiä putkia oikeina putkina, jos niillä ei ole merkittävää vaikutusta koko kattilalaitoksen layouttiin ja jos on riski, että tehty mallinnustyö menee hukkaan.

Tilavarauksen on oltava riittävän suuri, että kaikki siihen suunnittelut putket mahtuvat sen sisäpuolelle. Jos putket kannatuksineen eivät mahdu tilavarauksen sisälle, niin teräsrakenteita tai putkia joudutaan siirtelemään, jolloin tilavarauksella saavutettava hyöty menetetään. Ideaalitapauksessa putken primäärikannakkeet kiinnitetään suoraan teräsrakenteeseen, mikä säästää rahaa. Aina primäärikannakkeen kiinnittäminen suoraan teräsrakenteeseen ei kuitenkaan ole mahdollista, esimerkiksi liukukannatus vaatii riittävän suuren tasaisen pinnan, jolla kannake voi liukua sekä tilan mahdollisille kynsiohjaimille.

Tilavarauksen kokoa suunniteltaessa on otettava huomioon kappaleessa 3 esitetyt asiat, kuten suositeltavat putkivälit sekä vältettävät tavat kannakoida putkistoa. Putkien lisäksi tilan on riitettävä eristyksille ja tilaa on vielä jäätävä niin paljon, että asentaminen onnistuu vaivattomasti. Lisäksi on huomioitava, että pitkät putket saattavat vaatia erillisiä lämpölaajenemislenkkejä, jolloin tilavaraus ei voi olla suunniteltu suorille putkille.

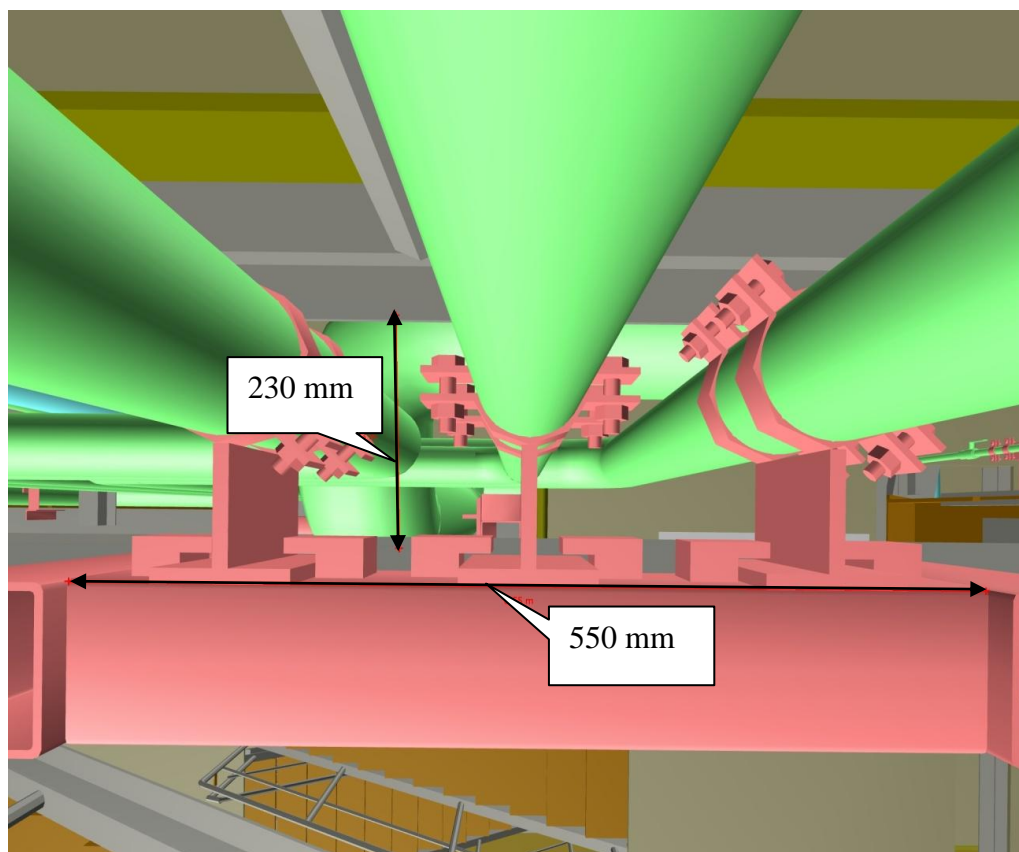
Suurimmat päähöyry- ja syöttövesiputkiston putkilinjat voidaan suunnitella jo tarjousvaiheen aikana, koska ne vaikuttavat tilantarpeensa takia layouttiin ja niiden tietoja hyödynnetään muun muassa hinnoittelussa. Kaikkia niihin kuuluvia putkia ei kannata suunnitella yksityiskohtaisesti. Esimerkiksi EKO:n jälkeiselle syöttövesiputkiston osuudelle voisi riittää tilan varaaminen. Tilaa kannattaa varata kaikille päähöyry- ja syöttövesiputkiston putkilinjoille, jos niiden reitityksestä ei ole varmuutta vielä esisuunnitteluvaiheessa ja ne ovat halkaisijaltaan suuria tai niihin kuuluu pitkiä suoria osuuksia. Eli päähöyry- ja syöttövesiputkisto jakaantuisi suunnittelun näkökulmasta tarkemmin suunniteltaviin päälinjoihin sekä alustavasti reititettäviin putkilinjoihin. Näiden lisäksi on

vielä joukko putkilinjoja, joita ei kannata mallintaa mitenkään vielä esisuunnittelun aikana. Tarkka jako voidaan päättää projektikohtaisesti, koska projektien välillä on huomattavaa vaihtelua, niin yleispätevien sääntöjen luominen on vaikeaa.

Yleisten sääntöjen luominen on helpompaa aloittaa putkijärjestelmistä, joihin kattilan tyypillä, kokoluokalla tai sovitulla toimituslaajuudella ja alue-layoutilla ei ole niin suurta vaikutusta. Esimerkiksi päähöyryputken reititykseen vaikuttaa kattilarakennuksen ulkopuolinen alue-layout, kun taas monen muun putkiston reititys on paljon vapaampaa. Vapaammin suunniteltavissa olevien putkistojen vakioiminen layoutin suhteen on helpommin saavutettavissa oleva tavoite. Ei-esivalmistettavat putkistot muodostavat merkittävän osan putkiston kuluista, joten myös potentiaaliset säästöt ovat merkittäviä.

Kaikissa kattilalaitoksissa on muutamia putkistoja, jotka ulottuvat kattilarakennuksen alhaalta ylös asti. Näitä ovat muun muassa paineilmaputket, palovesiputket, pölynpuhdistusjärjestelmän putket ja katon sadevesiputket. Paineilmaputket ja palovesiputket kulkevat yleensä yhdessä porrastornien vieressä. Palovesipostien sijainneista on olemassa erilaisia määräyksiä, minkä mukaan ne sijoitetaan. Sijoittamalla kaikki mahdolliset putket samoihin nousuaukkoihin voidaan säästää sekundääriterästen materiaalikustannuksissa, suunnittelukustannuksissa ja asennuskustannuksissa.

Instrumentti-ilman, työilman ja sammutusveden paikka suhteessa kattilarakennuksen porrastorneihin on suhteellisen vakio ja niitä tarvitaan kaikissa kerroksissa. Niiden varsinaista suunnittelua voidaan helpottaa varaamalla niille riittävä tila jo esisuunnitteluvaiheessa. Kuvassa 5.3 on havainnollistettu paineilmaputkien ja sammutusvesiputken vaatimaa tilaa.



Kuva 5.3. Aukkovarauksen tarvitsevat putket ja aukon koko.

Periaatteessa putket mahtuisivat 550x230 mm:n kokoisesta aukosta, mutta mahdollisten ylimääräisten putkien ja asentamisen tilantarpeen takia tilavarauksen koko on 1000x400 mm. Tämän kokoiseen tilavaraukseen mahtuu tarvittaessa vielä yksi isompi putki tai kaksi pienempää. Jos aukosta ei tule menemään ylimääräisiä putkia, niin ylimääräinen tila jää käyttämättä. Ideaalitilanteessa aukon kokoa päätettäessä tiedetään jo, että mitä putkia siinä tulee kulkemaan, jolloin aukosta ei tarvitse tehdä varmuuden vuoksi liian isoa.

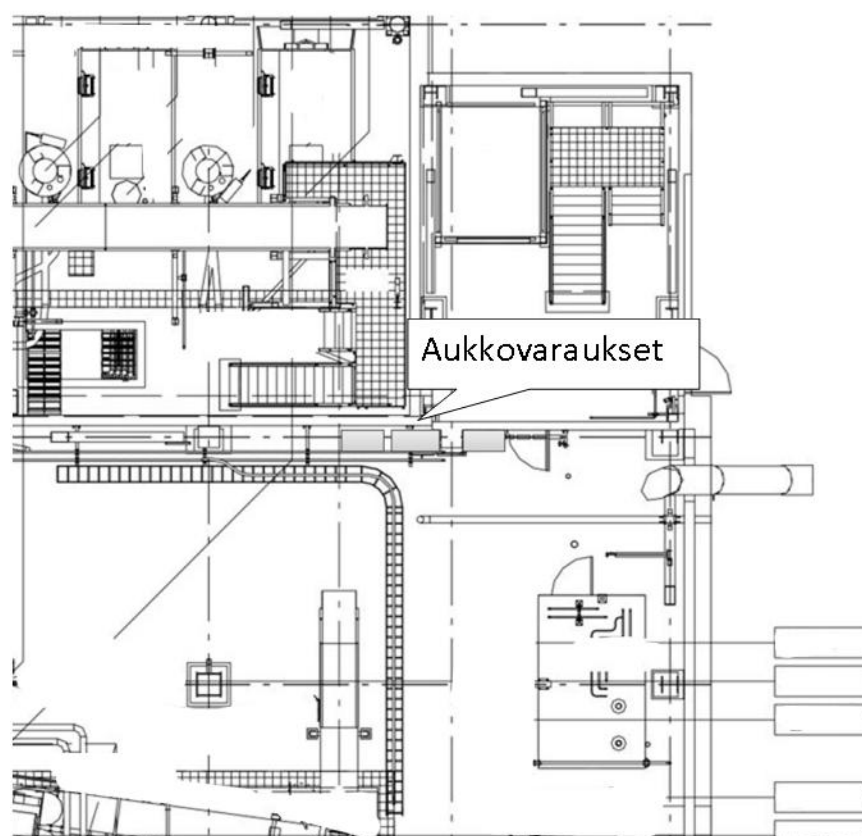
Jos tilavaraukset ovat laatikon muotoisia, niin voidaan käyttää suoraa putkea, jossa on vain T-kappaleita kerrokseen haarautuvia putkia varten. Myös kannatuksen esivalmistusmahdollisuudet paranevat, kun aukko on kaikissa kerroksissa samankokoinen ja putket ovat siihen nähden vakiopaikoilla.

Nousevista putkista voitaisiin teoriassa esivalmistaa määrämittainen moduuli, jossa putket ovat valmiiksi kannakoituna. Ideaalitapauksessa moduulit voitaisiin kiinnittää teräsrakenteeseen esimerkiksi pulttaamalla, jolloin asennusvaiheessa ei tarvitsisi tehdä hitsausliitoksia teräsrakenteeseen. Toinen vaihtoehto on asentaa putkistomoduulit yhtä aikaa teräsrakenteen kanssa, mikä laskisi asennuskustannuksia, kun esimerkiksi erillisiä rakennustelineitä ei tarvittaisi.

Mahdollisen moduulin ongelmana olisi kuitenkin kerrosten korkeuden vaihtelu, mikä vaikeuttaa moduulin vakiointia, koska haarautumispiste kerrokseen ei voi olla vakio paikassa. Lisäksi pelkkä kynsiohjaus kannatuksena ei estä jännitysten syntymistä putkiin, joten moduulien välillä jouduttaisiin käyttämään kiinteätä kannatusta. Myös putkien

taivutusjäykkyyden riittävyys kuljetus- ja asennusvaiheessa on kyseenalaista, jos putkinippua ei ole tuettu erikseen.

Kerrosten välillä kulkeville kaapelihyllyille voidaan varata tilaa jo esisuunnitteluvaiheessa, jos tiedetään, että mihin kattilarakennuksen osaan tilaa tarvitaan. Eniten kerrosten välillä kulkevia kaapelihyllyjä on sähkötilojen puoleisella seinustalla. Kaksi 600 mm leveää kaapelihyllyä mahtuu aukosta, jonka koko on 1100x600 mm. Tilavarauksia kaapelihyllyille voidaan käyttää, kun sähkötilojen sijainti on päätetty. Alla olevassa kuvassa 5.4 oikeanpuoleinen keltainen laatikko on putkien aukkovaraus ja kaksi muuta laatikkoo on tarkoitettu aukkovaraukseksi kaapelihyllyille.



Kuva 5.4. Aukkovaraukset on piirretty pohjakerroksen tasokuvaan.

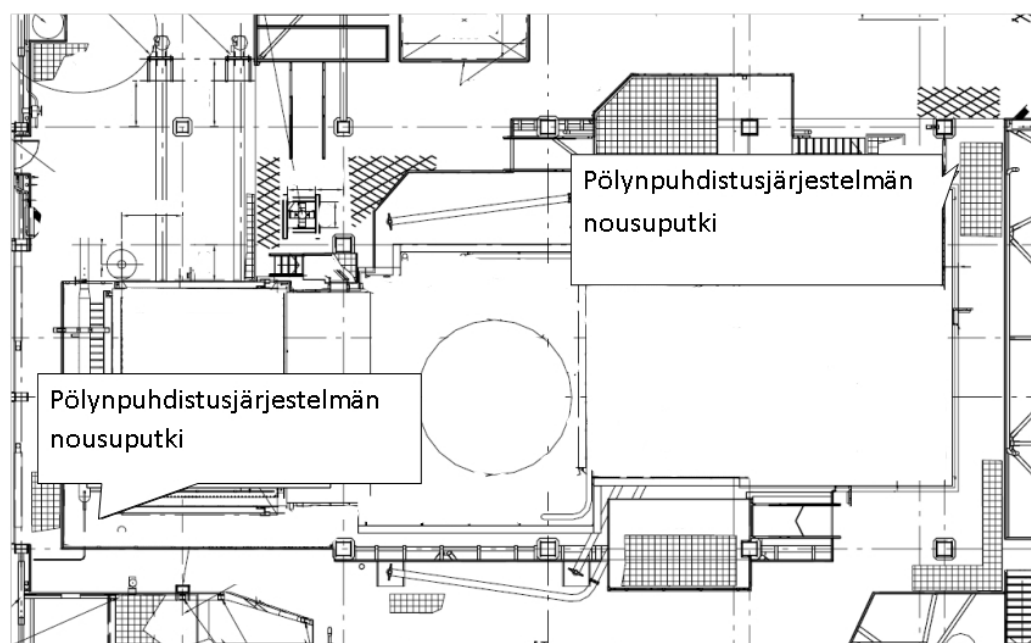
Tutkituissa projekteissa pölynpuhdistusjärjestelmän toteutuksessa oli melko paljon eroja. Nousuputkia on projektista riippuen joko kaksi tai neljä. Neljän nousuputken tapauksessa ne sijaitsevat kattilan kaikissa kulmissa, jolloin liitäntäpisteeseen on lyhyt matka kaikkialta kattilarakennuksesta.

Ennen tilavarausten tekoa pitää selvittää, että kuinka monta nousuputkea kattilarakennukseen tarvitaan. Ideaalitapauksessa asiakkaan kanssa on päästy yhteisymmärrykseen jo esisuunnitteluvaiheen aikana, mikä mahdollistaa putkien tarvitsemien aukkojen suunnittelemisen ennen muun suunnittelun etenemistä pitkälle.

Jos pölynpuhdistusjärjestelmän putket hyödyntävät muiden putkien kanssa yhteisiä aukkovarauksia, niin tilan riittävyys on varmistettava. Toinen vaihtoehto on, että putket

eivät hyödynnä samoja aukkoja, vaan ne mallinnetaan alustavasti tilavaraussylinterien avulla. Sylinteri voidaan mallintaa kattilarakennuksen pohjakerroksesta ylös asti ja sen halkaisijan on oltava riittävän suuri, että varsinainen putki mahtuu varmasti sen varamaan tilaa. Sen on myös oltava riittävän kaukana teräsrakenteista, että kannatuksen mallintamiseen jää riittävästi tilaa.

Pölynpuhdistusjärjestelmän pystyputkien vakiosijainti layoutissa voisi olla kuvan 5.5 osoittamissa vastakkaisissa nurkissa. Jos putkia tarvitaan neljä, niin ne voisivat sijaita kaikissa neljässä eri nurkassa. Putket eivät saa sijaita liian lähellä kattilaa tai siihen suoraan liittyviä rakenteita, koska ne liikkuvat lämpölaajenemisen seurauksena.



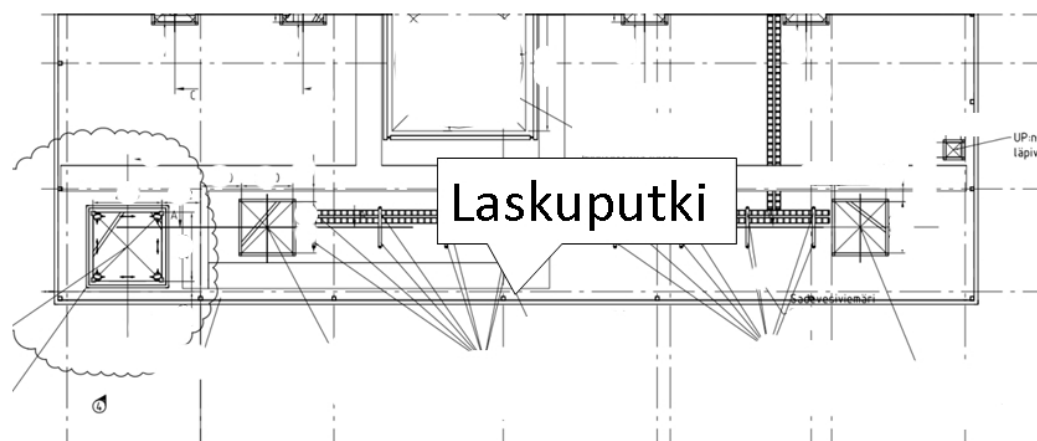
Kuva 5.5. Pölynpuhdistusjärjestelmän nousuputkien sijainti layoutissa.

Sadevesiputkien sijoittelussa on huomattavia eroja kattilalaitosten välillä. Sadevesiputket tyhjentyvät painovoimaisesti, joten niiden suunnittelussa on huomioitava riittävän laskun mahdollisuus. Tämä ei kuitenkaan estä niiden pystysuorien osuuksien sijoittamista samoihin aukkoihin muiden putkien kanssa. Toinen vaihtoehto on, että ne eivät käytä yhteisiä tilavaroja, vaan ne reititetään erikseen. Tällöin sadevesiputkia kuvataan aluksi sylinterin muotoisilla kappaleilla, joiden tilalle voidaan mallintaa varsinaiset putket, jos sadevesiputkien paikkaa ei tarvitse vaihtaa.

Vaikka sadevesiputket eivät ole voimalaitosprosessin kannalta tärkeitä, niin on perusteltua rakentaa ne heti projektin alkupuolella, koska kattilarakennus on tasakattoinen ja vesi on johdettava pois katolta heti sen valmistuttua. Tilapäisten ratkaisujen sijaan putket on kannattavaa tehdä kerralla valmiiksi.

Sadevesiputket keräävät veden katolta ja kuljettavat sen alas kattilarakennuksen sisällä kulkevia laskuputkia pitkin. Pystysuuntaisia sadevesien laskuputkia on vertailluissa kattilarakennuksissa aina kaksi kappaletta, mutta niiden sijainnit vaihtelevat. Jos paineilma- ja palovesiputket asennetaan jo kattilarakennuksen pystytyksen yhteydessä, niin

sadevesiputkien asentaminen samaan aikaan samoihin aukkoihin on perusteltua. Jos sadevesiputket reititetään käyttämättä tilavarausaukkoja, niin vakioinnin näkökulmasta ne kannattaisi sijoittaa silti aina vain yhdellä tapaa. Vakioratkaisu voisi olla varata laskuputkille tila kattilarakennuksen pidemmiltä seiniltä noin pidemmän seinän keskivaiheilta kuvan 5.6 mukaisesti siten, että toinen laskuputki tulee vastakkaiselle seinustalle, joka ei näy kuvassa.

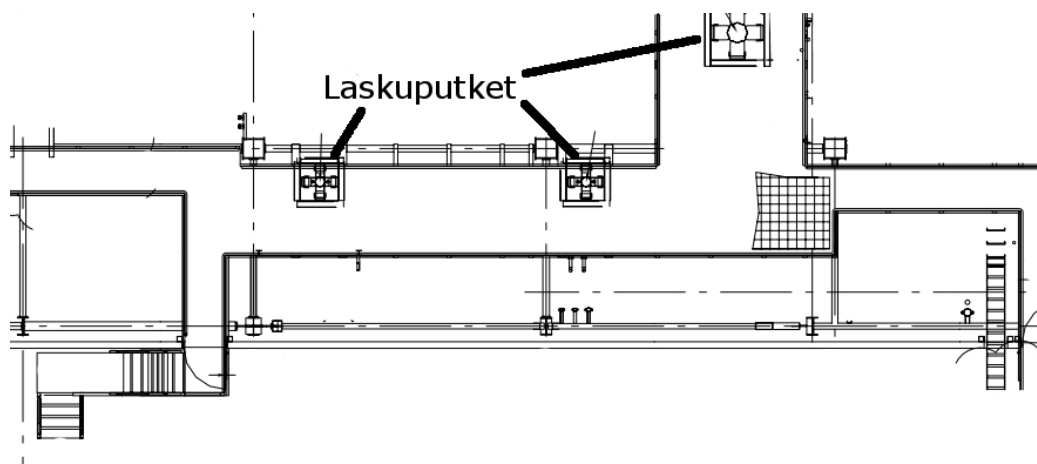


Kuva 5.6. Sadevesiputken ehdotettu sijainti merkittynä taso-layouttiin.

Aukkovarauksia voitaisiin ehkä käyttää myös kattilan ja syklonien laskuputkien suunnittelussa, vaikka niiden suunnittelu ei yleensä kuulu putkistosuunnittelulle. Niillä on kuitenkin huomattava vaikutus tilankäyttöön, joten tilavarausaukkoja tai -sylintereitä voitaisiin käyttää, jos putkia ei haluta mallintaa yksityiskohtaisesti vielä tarjousvaiheessa.

Kattilan ja syklonien ympärillä on useita suuria laskuputkia, joita pitkin vettä tuodaan höyrystinputkille. Kaikki laskuputket alkavat kattilarakennuksen yläosassa sijaitsevalta lieriöltä. Eristys mukaan lukien suurimmat putket voivat vaatia halkaisijaltaan yli metrin kokoisen aukon tason teräsrtilään. Raskaita putkia ei voida kannakoida miten tahansa, vaan yleisin kannakointi on nelipuolinen ohjaus. Nelipuolinen ohjaus edellyttää, että putken ympärillä on rakenneteräksiä kaikilla neljällä puolella.

Syklonien määrästä riippuen laskuputkia voi olla jopa 15 kappaletta tai jos sykloneja on vain yksi, niin vähemmän. Suurin osa laskuputkista on suoria, joten niiden tarvitsema aukko sijaitsee kaikissa kerroksissa samalla kohtaa. Kuvassa 5.7 on osa yhden syklonin kattilan tasopiirustuksesta, jossa vasemmalla puolella on kattila ja oikealla puolella sykloni sekä syklonin ympärillä olevat kuusi laskuputkea.



Kuva 5.7. Osa tasopiirustusta, jossa näkyvät laskuputket.

Laskuputkien määrä, halkaisija ja sijainti vaihtelevat eri projektien välillä. Yleisien sijoitussääntöjen tai ohjeiden kehittäminen laskuputkille on vaikeaa, koska projektien välillä on huomattavaa vaihtelua. Vaihtelusta huolimatta tilavarouksia voidaan käyttää, kun laskuputkien määrä ja oletetut sijainnit ovat selvillä. Tilavaraukset voidaan tehdä joko aukkovarauksien avulla neliön muotoisiksi tai sylinterien avulla. Putken todellisen koon varmistuessa voidaan tilavaruksen koko muuttaa sellaiseksi, että putki mahtuu siihen kannatuksineen. Ennen tietojen varmistumista voidaan hyvänä oletuskokona käyttää esimerkiksi neliötä, jonka sivun pituus on 1000 mm.

Putkiston layout-ratkaisujen vakioinnilla tavoitellaan kustannussäästöjä. Vakiointi mahdollistaa tiiviimpien ratkaisujen käytön, minkä ansiosta kattilarakennuksesta voidaan suunnitella pienempi. Jos putkiston osalta ei tehtäisi ollenkaan esisuunnittelua, niin putkistolle täytyisi jättää enemmän tyhjää tilaa. Tyhjän tilan rakentaminen on kallista, joten on järkevämpää käyttää suunnitteluvaiheessa enemmän resursseja, jotta lopputulos sisältää mahdollisimman vähän tyhjää tilaa.

Tilankäytön tehostamisen lisäksi kustannussäästöjä voi syntyä myös suunnittelutyöstä. Tilavarausten avulla voidaan viestittää muille suunnittelijoille, että mihin putkistoa ollaan suunnittelemassa tulevaisuudessa. Kun suunnitelmat ovat kaikkien nähtävissä, niin selvittää vähemmällä muutoksilla, koska putkistoa ei ilmesty tyhjästä. Lisäksi putkiston reititykseen tarvittavat muutokset voidaan tehdä ennen kuin putkiston suunnittelemiseen on käytetty paljon aikaa. Tällöin myös kynnys muutosten tekemiseen pienenee, kun tilavaruksen siirtäminen tai poistaminen ei tarkoita tuntien työn menemistä hukkaan.

Tilavarouksia voidaan käyttää myös työn ohjaamisen työkaluna. Kattilalaitoksen malliin tehty tilavaraus voi toimia suunnitteluohjeena putkistoa mallintaville suunnittelijoille. Esisuunnittelutyön tehnyt ihminen on päättänyt reitin valmiiksi ja putkistosuunnittelijan tehtäväksi jää varsinainen mallinnustyö. Tällöin esimerkiksi eri insinööritoimistojen suunnittelijat voivat hyödyntää samoja putkireittejä, vaikka suunnittelijat eivät olisi suoraan yhteydessä toisiinsa.

5.7 Suunnitteluprosessin aikajana

Suunnitteluprosessi jakautuu sekä tarjousvaiheen aikana tehtävään suunnitteluun että sopimuksen allekirjoittamisen jälkeiseen suunnitteluun. Sopimuksen allekirjoittaminen on suunnittelutyönkin kannalta ratkaiseva hetki, koska sitä edeltävä suunnittelutyö menee hukkaan, jos tarjousta ei voiteta. Toisaalta, jos tarjousvaiheen aikaista suunnittelua ei tehdä huolellisesti, niin siitä voi aiheutua huomattavia kustannuksia myöhemmin. Esimerkiksi hinnoittelu perustuu tarjousvaiheen aikana tehtävään suunnittelutyöhön, joten epätarkkuudet siinä voivat vaikuttaa merkittävästi projektikohtaiseen katteeseen. Kuvassa 5.8 on havainnollistettu sopimusta edeltävien vaiheiden jakoa sekä eri vaiheiden aikana tapahtuvaa toimintaa. Alustava hinnoittelu ei edellytä yksityiskohtaista suunnittelua, joten heti tarjousprojektin alussa ei ole tarvetta esisuunnittelulle. Myös budjettitarjous laaditaan suhteellisen nopeasti, joten tässäkin vaiheessa esisuunnittelulle ei ole vielä tarvetta. Vasta ehdollisen tarjouksen hinnoittelun aikana kattilalaitosta räätälöidään asiakasvaatimuksien mukaiseksi, jolloin myös tarkempi hintataso selviää. Esisuunnittelulle on tarvetta, koska projektin alkupuolella tehdään paljon isoja päätöksiä, jotka rajoittavat suunnittelua projektin edetessä. (Metson materiaalit)

Sopimusta edeltävien vaiheiden jako (tarjousvaihe)					
TA0 – Price indication (hintaindikaatio)		TA1 – budget quotation (budjettitarjous)	TA2 – Conditional quotation (ehdollinen tarjous)	TB – Firm proposal (sitova tarjous)	TC – negotiate/ TD – approve (sopimusneuvottelut)
Tapahtumia	Tarjottavan tuotteen määritteleminen	Toimituslaajuuden selvittäminen	Hinnoittelun tarkentaminen	Sitova tarjous	Sopimusneuvottelut

Kuva 5.8. Sopimusta edeltävät vaiheet (Metson materiaalit).

Ennen sopimusneuvottelujen alkamista asiakkaalle toimitetaan sivu-, päällys- ja tasokuvia kattilalaitoksesta, jotta asiakas voi vertailla kilpailevia tarjouksia. Alussa kuvien tuottamiseen käytetään yleensä AutoCAD:iä ja kuvat tuotetaan 2D-muodossa. Layout-suunnittelussa hyödynnetään vanhojen projektien tietoja eri laitteiden ja putkistojen tilankäytön osalta. Prosessisuunnittelu on myös aloittanut asiakkaalle räätälöityjen PI-kaavioiden suunnittelun ja projektia varten on luotu oma COMOS-projekti. COMOS-ohjelmassa PI-kaaviot voidaan räätälöidä asiakkaan tarpeisiin käyttämällä olemassa olevia prosessimoduuleita. (Metson materiaalit)

Ideaalitilanteessa projektin käytössä on putkistosuunnittelija, joka voi antaa palautetta layoutin suhteen putkistosuunnittelun kannalta ja varmistaa, että esimerkiksi putkiston ja kaapelihyllyjen tilavaraukset tulevat sijoitetuksi jo 2D-layouttiin, jos mahdollista. Projektille luodaan PDMS-malli, jotta se on käytettävissä riittävän aikaisessa vaiheessa. Ennen sopimusneuvotteluja on myös lähetettävä kyselyitä mahdollisille laitetoimittajille

päälaitteiden hintatason, teknisten tietojen ja mittojen selvittämiseksi, koska näitä tietoja tarvitaan sekä hinnoittelussa että layout-suunnittelussa.

Sopimusneuvotteluihin asti pääseminen edellyttää, että muun muassa layout, toimituslaajuus, PI-kaavioiden rakenne ja prosessiarvot ovat selvillä riittävällä tarkkuudella. Putkiston osalta vähintään päähöyry- ja syöttövesiputkiston päälinjat täytyy olla mitoitettuna alustavalla putkiluokalla, jotta käytettävän materiaalin määrä voidaan arvioida. PDMS-malliin esireititetään vähintään päähöyryputki sekä syöttövesiputkiston säiliön ja pumppujen välillä olevat putket. Esireititetyn putken tarkoituksena on toimia tilavarauksena ja välittää tietoa putkien tulevasta sijainnista esimerkiksi teräsrakennesuunnittelulle sekä perus- ja detaljisuunnittelun tekeville alihankkijoille. Tässä vaiheessa PDMS-mallissa on aukkovaraukset putkinousuille ja kaapelihyllyille, mutta niihin ei vielä mallinneta putkia tai kaapelihyllyjä, koska se vie aikaa, eikä tarjouskilpailun voittaminen ole varmaa. Aukkovarausten hyvänä puolena on, että ne voidaan mallintaa pienemmällä vaivalla kuin varsinaiset putkistot, joten niitä kannattaa käyttää tarjousvaiheen putkistojen esisuunnittelun apuna.

Erityistä huomiota on kiinnitettävä suurten venttiiliryhmien sijoitukseen, koska venttiilit halutaan usein peräkkäin putken suoralle osuudelle, jolloin niiden sijoittamien vie paljon tilaa. Vaadittava suoran putken osuus voi riippua myös esimerkiksi instrumentoinnista, koska mittaukset vaativat häiriöttömän virtauksen. Venttiilien lisäksi tilaa vie niiden vieressä sijaitseva taso, jolta venttiilejä on pystyttävä käyttämään ja huoltamaan. Painavat venttiilit saattavat vielä vaatia nostopalkkeja niiden yläpuolelle, että ne pystytään vaihtamaan, koska erityisesti säätöventtiilit kuluvat käytössä. Venttiilien koot selviävät vasta niiden mitoittamisen jälkeen, mutta ainakin suurimpien venttiilien koot kannattaa arvata jo esisuunnitteluvaiheessa, että ne voidaan sijoittaa malliin oikeille paikoille. Mitoittamisen jälkeen venttiili voidaan korvata oikean kokoisella.

Layout-suunnittelija lisää käytettävät moduulit PDMS-malliin oikeille paikoille, kun mallissa on riittävästi järjestelmiä, joihin moduulit liittyvät sekä teräsrakenteet. Ennen moduulien sijoittamista on päätettävä, että mitä moduuleja projektissa käytetään. Moduuleista voi olla useita eri variantteja, jolloin myös käytettävä variantti on päätettävä. Moduulien sijoittamista on käsitelty tarkemmin kappaleessa 5.5.

Moduulien lisäksi malliin on sijoitettava suurin osa paljon tilaa vievistä laitteista, mikä edellyttää, että laitteiden suuruusluokka on tiedossa. Esimerkiksi aikaisemmista projekteista kopioidut pumput ja puhaltimet voidaan korvata lähes oikean kokoisilla vasta sitten, kun prosessisuunnittelu on laskenut laitteille suunnitteluarvot ja laitetoimittaja on arvioinut laitteen tilantarpeen tai vanhoista projekteista on löydetty lähes vastaavat. Todellinen tilantarve selviää vasta laitetoimittajan valinnan jälkeen, kun valittu toimittaja on suunnittelut laitteen riittävän pitkälle, että se voi toimittaa päämitat ja tarkat tiedot laitteen liitännöistä. Tämän takia laitteiden toimittajien valinta ja laitteiden tilaaminen riittävän ajoissa on tärkeä osa suunnitteluprosessia.

Sopimusta edeltävien vaiheiden suunnittelutehtäviä on havainnollistettua liitteistä löytyvässä kuvassa 4. Esisuunnittelun kannalta on tärkeää päättää, että koska PDMS-mallia

aletaan hyödyntää suunnittelussa. Ennen mallin käyttöönottoa esisuunnittelumahdollisuudet ovat rajalliset.

Putkiston toimituslaajuuden ja toimitusrajojen lisäksi asiakkaan kanssa on hyvä sopia riittävän varhaisessa vaiheessa, että mitä putkikokoja projektissa on tarkoitus käyttää. Jos asiakkaalla on jo olemassa oleva kattilalaitos tai toimitettava kattilalaitos liittyy asiakkaan prosessilaitokseen, niin eri putkikokojen ja seinämävahvuuksien määrän rajaaminen voi olla hyödyllistä muun muassa logistiikan ja huollettavuuden kannalta. Putkikokojen määrän rajaaminen on myös toimittajan etu, koska putkien ostaminen isommissa erissä on edullisempaa. Lisäksi putkistojen asentaminen helpottuu, kun edullisia putkia ei mitoiteta liian tiheällä välillä, vaan putkikoot pyöristetään riittävästi ylöspäin. Esimerkiksi DN-kokoja 32, 65, 125 ja 450 on syytä välttää (Metson materiaalit).

Vastaavasti kannakkeiden suunnittelussa on järkevää välttää liian tiheää mitoitusväliä. Jos jokainen kannake mitoitetaan erikseen, niin kattilalaitosta varten joudutaan tilaamaan valtavasti erilaisia kannakkeita, mikä tulee materiaalitilauksen ja asennuksen kannalta kalliiksi. Edullisempi tapa on suosia tiettyjä kokoja, jolloin osa kannakkeista on ylimitoitettuja, mutta erilaisten kannakkeiden määrä on rajallinen.

Ennen sopimuksen allekirjoittamista malliin voidaan vielä esireitittää päähöyryn varoventtiilien ja käynnistysventtiilin ulospuhallusputket sekä ulospuhallussäiliön hönkäputki, koska ne ovat pitkiä putkilinjoja, joiden reitityksellä on vaikutusta koko kattilalaitoksen layouttiin ja niiden metrihinta on suhteellisen kallis. Lisäksi syöttövesiputkisto esireititetään EKO:lle asti ja moduulien välisiä putkia esireititetään, jos aikaa on.

Ennen mahdollista sopimuksen syntymistä suunnittelijat päivittävät tietoja sopimusneuvottelujen edistyessä. Esimerkiksi PI-kaavion täytyy olla ajan tasalla, että putkiston suunnittelija voi huomioida muutosten vaikutukset kustannuksiin. Toisaalta myös layouttiin voi tulla muutoksia, jotka on päivitettävä malliin.

Projektin toteutusvaihe alkaa toimitussopimuksen allekirjoittamisesta ja päättyy takuuvaiheeseen. Takuuvaiheen aikana toimittaja korjaa kattilalaitoksen toiminnassa ilmenneet viat, koska yleensä kaikkia vikoja ei löydetä käyttöönoton aikana. Kuvassa 5.9 on kuvattu sopimuksen allekirjoittamisen jälkeisiä vaiheita. (Metson materiaalit)

Project Execution Phase						
Handover and Kick-off		System Definition Phase	Detailing and Fabrication Phase	Assembly / Erection phase	System Completion Phase	Guarantee Period Phase
Phase result in	Kick-off complete	Global design complete	Preassemblies ready for shipment	Mechanical complete	Take-over complete	Lifetime support starts

Kuva 5.9. Projektin toteutusvaihe on jaettu kuuteen osaan. (Metson materiaalit)

Sopimuksen allekirjoittamisen jälkeisiä suunnittelutehtäviä ja esisuunnittelua on havainnollistettu kuvassa 5, joka löytyy liitteistä. Sopimuksen allekirjoittamisen jälkeen varsinainen toimitusprojekti alkaa, jolloin tarjousvaiheen projektitiimin on luovutettava suunnitteluaineisto uudelle projektitiimille. Suunnittelun kannalta tärkein uusi doku-

mentti on sopimus, jossa on määritelty muun muassa millaisen kattilalaitoksen asiakas haluaa ja millä aikataululla. Käytännössä sopimus on hyvin yksityiskohtainen ja pelkästään siihen perehtyminen vie paljon aikaa projektin alussa, koska sopimuksen noudattaminen on tärkeää.

Sopimuksessa on määritelty toimitusrajat ja järjestelmät, jotka kuuluvat toimitukseen. Metso ei toimita turbiinilaitoksia, joten päähöyryputken osalta toimitusraja voi sijaita esimerkiksi turbiinin yhteessä eli Metson vastuulla on suunnittelu ja toteutus kattilarakennuksesta turbiinirakennukseen turbiinin yhteelle.

Käytännössä toimitusrajat on merkitty muun muassa PI-kaavioihin ja niistä on sovittu sopimusneuvottelujen yhteydessä. Pelkästään PI-kaavioissa olevat toimitusrajat eivät kuitenkaan mahdollista putkiston suunnittelua, koska putken alku- tai päätepiste on tiedettävä tarkasti. Tämän tiedon on hyvä olla käytettävissä mahdollisimman varhaisessa vaiheessa, jotta sen puuttuminen ei aiheuta tarpeettomia muutoksia, jos putkistoa on jouduttu suunnittelemaan epävarman tiedon perusteella. Tarkoista toimitusrajoista on sovittava asiakkaan kanssa heti sopimuksen allekirjoittamisen jälkeen, jos niitä ei ole vielä tässä vaiheessa päätetty.

Sopimuksen allekirjoittamisen jälkeen prosessisuunnittelussa lisätään kaikki linja- ja venttiilinumero PI-kaavioihin. Käytännössä PI-kaavio ei ole koskaan valmis, vaan sitä päivitetään projektin edetessä. Putkistosuunnittelijoiden työtä helpottaa, jos he voivat käyttää oikeita putkiluokkia putkien reitittämiseen heti alusta asti. Tämän takia prosessisuunnittelun on laskettava kaikille putkille linjakohtaiset prosessiarvot, kuten paine, lämpötila ja massavirta, samassa järjestyksessä kuin putkistosuunnittelu tarvitsee putkiluokkia. Prosessiarvojen jälkeen putkilinjoille voidaan laskea putkiluokat. Laskeminen vie aikaa ja varsinkin isojen putkilinjojen suunnittelulla on enemmän kiire kuin pienten, joten työ on hyvä aloittaa isoista putkista, joissa on suurin paine ja lämpötila.

Pienille putkille voidaan käyttää Metson omia ei-projektikohtaisia putkiluokkia, jotka ovat lähellä standardeissa määriteltyjä putkiluokkia ja ne ovat olemassa jo valmiiksi. Sen sijaan korkeapaineiset sekä seinämävahvuudeltaan ja halkaisijaltaan suuret putket halutaan optimoida seinämävahvuuden ja käytettävän materiaalin suhteen, koska mahdolliset säästöt ovat huomattavia. Optimoinnin suorittaa käytännössä putkiluokkien laskija, joka laskee projektikohtaiset putkiluokat kutakin projektia varten. Putkiluokkien laskeminen voidaan aloittaa vasta prosessiarvojen ollessa selvillä.

Putkistosuunnittelija voi aloittaa putkiston reitittämisen suurimmista putkista, kun putkilinjan alku- ja loppupiste on selvillä. Ideaalitulanteessa myös käytettävä putkiluokka on jo selvillä, mutta sen puuttuminen ei estä suunnittelua, koska putkia voidaan mallintaa esimerkiksi umpinaista putkea käyttämällä. Umpinaiset putket voi myöhemmin vaihtaa oikeaan putkeen, mutta vaarana on, että muutoksia tehdessä jokin putkimutka tai t-kappale jää päivittämättä. Umpinaista putkea järkevämpi valinta on käyttää tähän tarkoitukseen suunniteltua layout-putkiluokkaa, joka voidaan myös vaihtaa varsinaiseen putkiluokkaan sen valmistuessa.

Kuten toimitusrajojen kanssa, niin myös reititettäessä putkistoja on alku- ja loppupisteet oltava selvillä millin tarkkuudella, jos halutaan välttää ylimääräistä työtä. Siksi laitteet

on sijoitettava tarkasti oikealle paikalle heti kun se on mahdollista. Lisäksi on tiedettävä kiinnitysmenetelmä laitteeseen tai toiseen putkeen, mikä on yleensä hitsausliitos tai laippaliitos. Laippaliitoksen tapauksessa on tiedettävä laippaliitoksen koko, paineluokka ja käytettävä standardi.

Käytettäessä hitsausliitoksia on varmistuttava siitä, että materiaalit soveltuvat hitsattavaksi toisiinsa kiinni. Liitettävien putkien materiaalit eivät saa poiketa toisistaan liikaa, että hitsausaumasta tulee riittävän kestävä. Tarvittaessa välissä voidaan käyttää lyhyttä sovituskappaletta, joka on sellaista materiaalia, että se soveltuu hitsattavaksi molempien liitettävien putkien kanssa. Tämä lisää kuitenkin turhaa työtä ja kasvattaa virheiden riskiä, joten suunnittelussa olisi pyrittävä välttämään tämän tyyppisiä ratkaisuja.

Laitetietojen, kuten mittapiirustusten tai vastaavien dokumenttien oikea-aikaisen saatavuuden edellytyksenä on, että laitteet on tilattu riittävän aikaisin. Ei riitä, että laitteet tilataan riittävän ajoissa työmaalle asennettaviksi, vaan niiden mittatietoja on oltava saatavilla jo putkistosuunnittelun alkuvaiheessa. Isojen laitteiden mittatiedot eivät ole saatavilla vielä tilaushetkellä, koska ne ovat valmistajalleen projektituotteita, jotka optimoidaan jokaista toimitusta varten. Ideaalitulanteessa esimerkiksi suuret pumpput ja puhaltimet tilataan niin aikaisin, että mittatiedot ovat käytettävissä, kun laitteisiin liittyvää putkistoa suunnitellaan.

Jos mittatietoja ei ole saatavilla tai ne eivät ole tarkkoja, niin putkistoa ei voida suunnitella laitteen putkiyhteelle asti. Tietojen varmistuessa putkiston jo tehty reititys voi olla sellainen, että sitä joudutaan muuttamaan, jos yhteen paikka on kaukana arvatusta sijainnista. Tämä on ongelmana erityisesti syöttövesipumppujen putkiston suunnittelussa, koska pumppuihin ei saa kohdistua merkittäviä kuormituksia, joten jännityslaskelmat joudutaan tekemään uudestaan, jos geometriaan tulee muutoksia. Lisäksi, jos aikataulu on tiukka, niin osa putkista tai ainakin ympäröivistä teräsrakenteista on voinut valmistua, jolloin muutosten tekeminen maksaa vielä enemmän.

Esisuunnitteluvaiheen voidaan katsoa päättyvän, kun esimerkiksi putkistojen suunnittelussa siirrytään perussuunnitteluvaiheeseen. Käytännössä eri putkilinjojen suunnittelu etenee eri vaiheissa, koska isommat putket täytyy tilata esivalmistajalta riittävän ajoissa, joten esisuunnitteluvaiheen päättymistä koko projektin kannalta ei voida tarkasti määrittää. Esisuunnittelua tehdään kuitenkin vielä sopimuksen allekirjoittamisen jälkeenkin, kuten liitteiden kuvasta 6 nähdään.

Esisuunnittelun tarkoituksena on vakioda kattilalaitoksen tilankäyttöä sekä mahdollistaa säästöjen syntyminen esisuunnittelua seuraavissa suunnitteluvaiheissa. Säästöt voivat syntyä turhan suunnittelutyön vähenemisestä sekä materiaalinkäytön ja asennuskustannusten pienentyessä. Toisaalta esisuunnittelusta myös aiheutuu kuluja, joten on varmistuttava, että esisuunnitellaan oikeita asioita ja säästöjä todella syntyy.

Käytännössä putkiston esisuunnittelu on tila- ja aukkoverausten tekeminen malliin, mikä mahdollistaa putkiston suunnittelun ohjaamisen ilman varsinaisia kirjallisia ohjeita. Lisäksi tärkeimpiä putkilinjoja voidaan esireitittää jo ennen putkiluokkien valmistumista. Laitteiden layout-suunnittelu ohjaa niihin liittyvien putkien suunnittelua, joten erilaisten putkistoon liittyvien laitteiden sijoittaminen on myös osa esisuunnittelua. Lait-

teiden osalta ei vielä riitä, että laite mahtuu sille suunnitellulle paikalle, vaan putkille on oltava riittävästi tilaa ja siihen liittyvien putkien reitityksen on oltava mahdollisimman lyhyt. Varsinaisen suunnittelun lisäksi esisuunnitteluprosessi pitää sisällään vaiheen, jossa PI-kaavioista tunnistetaan mahdolliset ongelmat ja ne pyritään ratkaisemaan ennen varsinaisen putkistosuunnittelun alkamista.

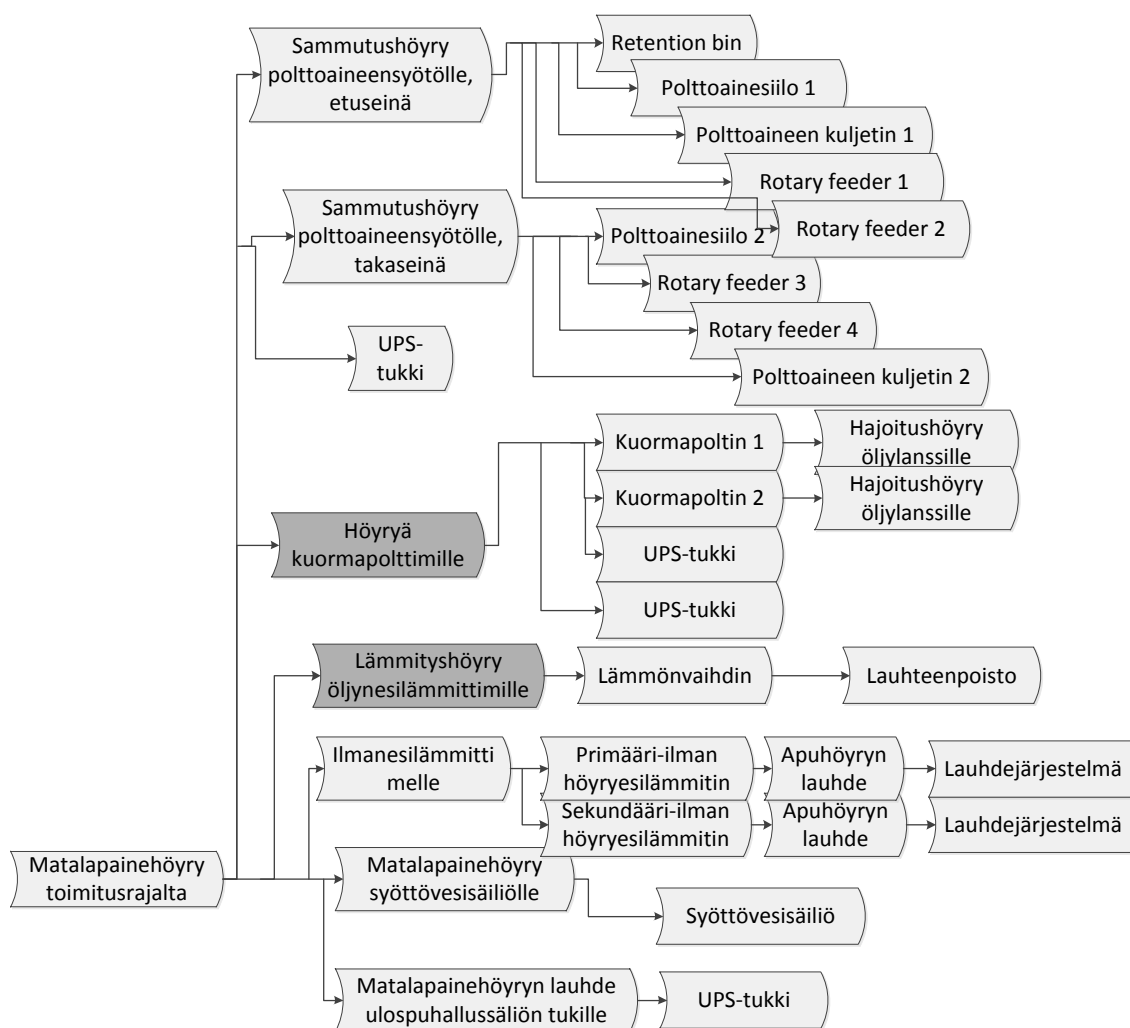
Esisuunnittelun jälkeen mallinnettuja tila- ja aukkovarauksia on hyödynnettävä mahdollisimman paljon, koska turhan tilan varaaminen kattilalaitoksen putkistoja varten tulee kalliiksi. Esireititetyt putket on mallinnettava oikean putkiluokan mukaisella putkella ja laitteiden malleja on päivitettävä tietojen varmistuessa. Jos tilavaraus sijoitetaan sellaiselle paikalle, että sitä ei voi hyödyntää, niin se on poistettava mallista.

5.8 Kehitysehdotukset

5.8.1 PI-kaaviot

Suunnittelun kannalta nykytilanne, jossa PI-kaaviot on jaettu sivuittain eriteltyihin va-kiokokonaisuuksiin, ei aina ole optimaalinen. Nyt PI-kaavioiden jako määräytyy osittain sivun koon perusteella, koska yhdelle arkille ei mahdu selkeästi esitettynä rajattomasti tietoa. Yleisin tulostetuissa PI-kaavioissa käytetty sivukoko on A3, mutta kaaviot tehdään A1 koossa. Luettavuus on rajoittava tekijä, jos kaavioita halutaan tulostaa pienemmässä koossa. Ideaalitilanteessa vakiojaon lisäksi olisi käytettävissä mahdollisuus ryhmitellä PI-kaavioissa esiintyvät järjestelmät myös muilla tavoin eikä sivukoko rajoit- taisi valintojen tekemistä. Käytännössä nykyisin käytössä olevat järjestelmät eivät tätä kuitenkaan mahdollista ja asiakkaat sekä muut sidosryhmät haluavat käyttää paperille tulostettuja kaavioita, minkä seurauksena nykytilanteen muuttaminen on vaikeaa.

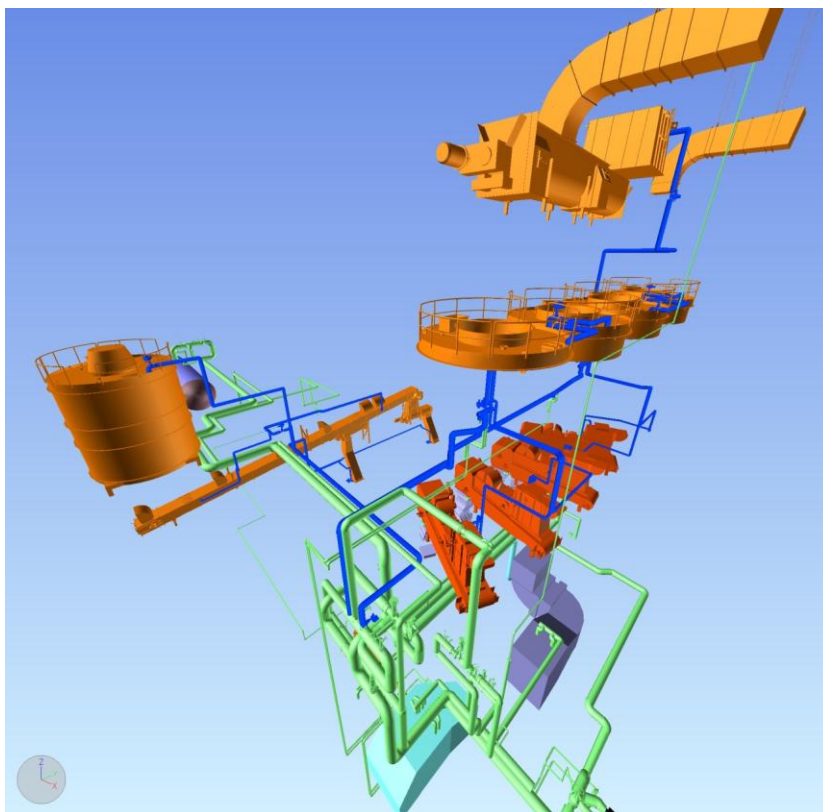
Kuvassa 5.10 on PI-kaavioiden perusteella tehty uusi mallikaavio, jossa näkyy matala- painehöyryn toimitusraja vasemmalla puolella ja höyryn käyttökohteet oikealla puolella. Tummenetulla pohjalla olevat kaavion osat eivät esiinny kaikissa tutkituissa kattilalai- tosprojekteissa, vaan riippuvat esimerkiksi toimituslaajuudesta ja toimitettavan laitoksen käyttämästä tekniikasta. Matalapainehöyryä käytetään pääasiassa ilman esilämmittämi- seen, syöttövesisäiliön lämmittämiseen ja mahdollisen polttoaineensyöttöjärjestelmän tulipalon yhteydessä sammuttamiseen.



Kuva 5.10. Matalapainehöyryn käyttökohteet on kerätty PI-kaavioiden eri sivuilta.

Kuvan 5.10 kaavion laatimiseen käytetyt tiedot ovat hajallaan PI-kaavioiden eri sivuilla. Erään projektin A3-kokoon tulostettuja PI-kaavioita on 53 sivua ja matalapainehöyryputkia on niistä kahdeksalla eri sivulla, jotka eivät ole edes peräkkäisiä sivuja. Jos putkistoa halutaan esisuunnitella, niin kokonaiskuvan hahmottaminen on vaikeaa, koska putkistokokonaisuus on jaettu niin monelle eri sivulle. PI-kaavioiden selaaminen on työlästä ja vie paljon aikaa. Tämän takia yhdenkin järjestelmän muodostaman kokonaisuuden hahmottaminen voi olla vaikeaa. Vielä vaikeampaa on muodostaa kokonaiskuva useammasta eri järjestelmästä, jos tavoitteena olisi esimerkiksi yhteisten putkiväylien käyttö.

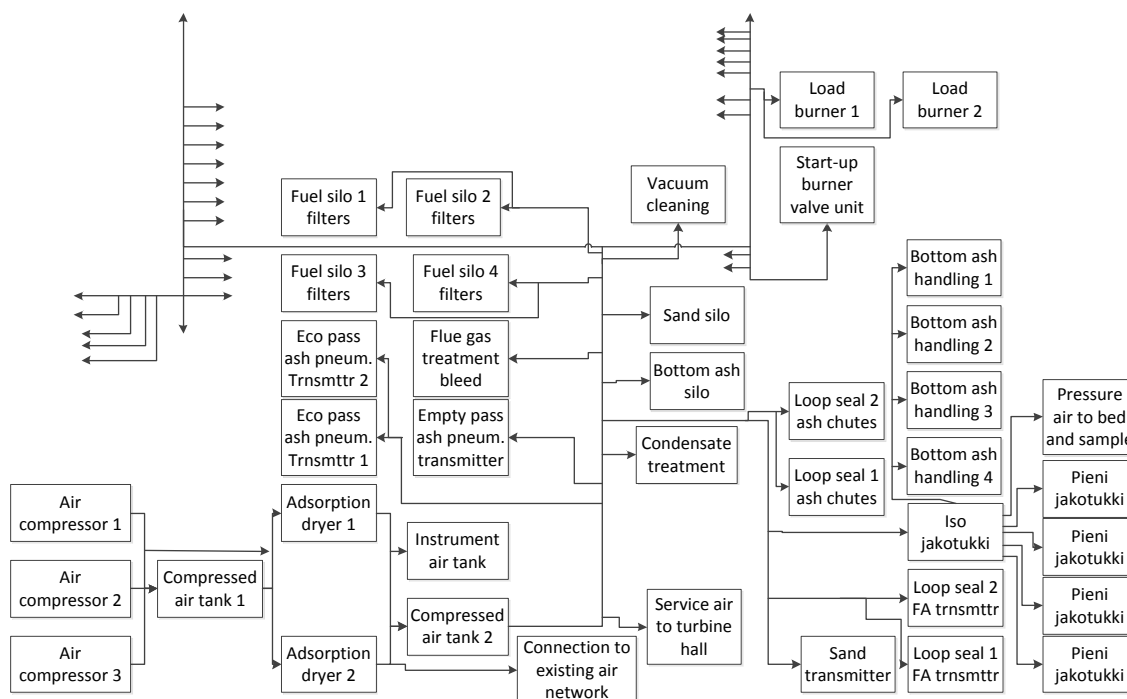
Kuva 5.11 on kuvankaappaus Navisworks-ohjelmasta. Kuvassa on matalapainehöyryputkisto kokonaisuudessaan ja sammutushöyrylinjat on korostettu sinisellä. Myös sammutushöyryn käyttökohteet, kuten polttoainesilo, on valittu osittain näkyviksi. Kuvan alaosassa näkyy osa ilmanavista, joissa ilman höyryesilämmittimet sijaitsevat.



Kuva 5.11. Matalapainehöyryputkien 3D-malli, sammutushöyrylinjat sinisellä.

Ideaalitilanteessa rinnakkaisten putkien osuuksia ei olisi olemassa, vaan esimerkiksi matalapainehöyryä jaettaisiin käyttökohteisiin yhdestä runkoputkesta, josta haarautuisi pienempiä putkia käyttökohteille. Nyt venttiilit on usein piirretty PI-kaavioihin lähelle haarautumispistettä. Aina venttiilien sijainti tietyssä paikkaa PI-kaaviota ei kuitenkaan johdu mistään prosessiteknisestä syystä, vaan niitä voitaisiin siirtää, jos tiedettäisiin, että siirtämällä venttiiliä voidaan säästää putkea.

Paineilmajärjestelmä on toinen esimerkki laajasta järjestelmästä, joka liittyy moneen eri kattilalaitoksen osaan. Seuraavan kuvan 5.12 paineilmajärjestelmässä venttiilit sijaitsevat yleensä lähellä haarautumispistettä päälinjasta, vaikka käyttökohteelle olisi pitkä matka. Tämän seurauksena kattilarakennuksessa on turhia rinnakkaisia paineilmalinjoja, koska venttiilin jälkeisestä putken osuudesta ei enää voi haarautua putkea, joka toimittaisi paineilmaa toiselle järjestelmälle. Jos venttiilit sijaitsisivat lähempänä käyttökohteita, niin esimerkiksi polttoainesiilon suodattimelle ei tarvitsisi tuoda päälinjasta asti erillistä putkea, vaikka lähempänä on palokaasujen käsittelyssä tarvittava paineilmalinja.



Kuva 5.12. Paineilmajärjestelmä.

Prosessisuunnittelu on vastuussa PI-kaavioiden tekemisestä, mutta heillä ei aina ole tietoa laitteiden sijainneista projektin PDMS-mallissa, koska projektin alkuvaiheessa suurinta osaa laitteista ei ole sijoitettu malliin. Siten he eivät voi suunnitella kaavioista sellaisia, että putkea kuluisi mahdollisimman vähän. Laitteiden sijoittamisesta on vastuussa projektin layout-suunnittelija. Layout-suunnittelijan tehtäviin voisi kuulua tunnistaa kaavioista ratkaisut, jotka johtavat rinnakkaisiin putkistoihin. Potentiaalisten säätökohteiden tunnistamisen jälkeen layout-suunnittelijan on ehdotettava muutoksia prosessisuunnittelulle. Muutosten tekemisen jälkeen layout-suunnittelijan on vielä varmistuttava, että uusi ratkaisu on kokonaisuuden kannalta parempi kuin vanha. Tarkoituksena on, että muutosten jälkeen putkea kuluu niin paljon vähemmän, että muutosten tekeminen on kannattavaa.

Putkilinjoja reititetään usein yksitellen alkupisteestä loppupisteeseen lyhimmältä näytävää reittiä pitkin. Myös työn jakaminen alihankkijoille luo helposti tilanteen, jossa yksittäisellä suunnittelijalla ei ole syytä miettiä kokonaisuutta. Helpottamalla kokonaisuuden hahmottamista olisi mahdollista esisuunnitella putkiston reititystä ennen varsinaisen putkistosuunnittelun alkamista. Tällöin yksittäinen putkistosuunnittelija ei saisi vapaasti reitittää yksittäistä putkea halumaansa reittiä, vaan esisuunnitteluvaiheessa olisi osalle putkista päätetty alustava reititys valmiiksi. Käytännössä alustava reititys voisi olla projektin layout- tai putkistosuunnittelijan vastuulla.

Esisuunnittelu voisi mahdollistaa työn jakamisen alihankkijoille niin, että suunnittelun laatu ei kärsisi, vaikka eri alihankkijat eivät tekisi tiivistä yhteistyötä. Aikaa vapautuisi myös siitä, kun Metson putkistosuunnittelusta vastaavien ihmisten ei tarvitse käyttää niin paljoa aikaa alihankkijoiden työn ohjaamiseen.

COMOS-ohjelman sisältämissä tiedoissa voisi näkyä järjestys, jossa putkilinjoja kannattaa suunnitella. Tästä ominaisuudesta olisi hyötyä putkistosuunnittelussa, koska projekti-kohtaisten putkiluokkien olisi hyvä valmistua tärkeysjärjestyksessä. Putkiluokat taas vaativat lähtötietoja prosessisuunnittelulta, jossa ei välttämättä olla tietoisia, että missä järjestyksessä putkistosuunnittelussa tietoja halutaan.

Lisäksi tieto suunnittelujärjestyksestä voisi ohjata myös alihankintana tehtävää putkistosuunnittelutyötä, mikä vähentäisi tarvetta ohjata putkistosuunnittelua tekeviä osapuolia erikseen. Toisaalta suunnittelujärjestystieto voisi palvella myös esisuunnittelua, kun projektin alkupuolella voitaisiin sopia järjestys, jossa putkia suunnitellaan. Suunnittelujärjestyksen miettiminen etukäteen voisi parantaa tilankäyttöä, kun suuremmat ja kalliimmat putket suunniteltaisiin ensin. Ensin suunniteltavat putket voidaan reitittää mahdollisimman lyhyitä reittejä, kun pienempiä ja halvempia putkia ei vielä ole tiellä.

5.8.2 COMOS-ohjelma

COMOS-ohjelmalla PI-kaavioista voidaan värittää WBS-numeron (Work Breakdown Structure) tai siirrettävän väliaineen rajaama kokonaisuus halutulla värillä. WBS-numero on Metson sisäinen työnositusjärjestelmä, jonka avulla kattilalaitos voidaan jakaa eri projekteissa vakiona pysyviin osiin. Putkisto voidaan jakaa osiin käyttämällä joko WBS-numeroa tai siirrettävän väliaineen perusteella. Kummallakaan tavalla ei aina voi valita juuri sitä osaa putkistosta, mihin kuuluvia putkia haluttaisiin mahdollisesti yhdistää. Yhdistettävillä putkilla pitäisi olla vähintään samat suunnittelu- ja toiminta-arvot, kuten höyryn lämpötila ja paine, mutta sekä WBS-numeroa että väliainevalintaa käytettäessä tulee valinneeiksi putkilinjoja, joilla on muun muassa erilaiset suunnittelu-arvot. Esimerkiksi WBS-numeroa tai väliainevalintaa käyttämällä matalapainehöyryverkon lisäksi tulee valinneeiksi myös paisuntahöyryputkia, jotka eivät liity matalapainehöyryverkkoon, koska niiden tehtävä on erilainen sekä myös höyryn paine ja lämpötila eroaa matalapainehöyryverkosta. Toisaalta kaikilla paineilmaverkkoon kuuluvilla putkilla on samat suunnittelu-arvot ja putkiston voi valita väritettäväksi sekä WBS-numeron että väliainevalinnan avulla, joten värittämistoiminnolle voisi olla käyttöä joidenkin järjestelmien suunnittelun yhteydessä.

PI-kaaviot voidaan tulostaa siten, että sivut, joilla ei ole väritettyjä putkilinjoja jäävät tulostumatta. Tällä valinnalla voidaan helpottaa putkiston muodostaman kokonaisuuden hahmottamista, kun ylimääräiset sivut jäävät pois tieltä. Sivuja on kuitenkin usein niin monta, että niitä ei saa näkyville järkevään tilaan. Lisäksi kaavioita ei ole suunniteltu yhdistettäväksi, joten putkistot eivät jatku eri sivuilla samasta kohtaa. Kuvassa 5.13 on osa matalapainehöyryn PI-kaaviosta, josta on väritetty WBS-numeron rajaama matala- ja keskipainehöyryjen muodostama kokonaisuus violetilla.

toa PI-kaavioihin piirrettävien putkien todellisista pituuksista eikä laitteiden sijainneista. Putkistosuunnittelu kuitenkin noudattaa usein esimerkiksi PI-kaavioon merkittyä haarautumispistettä kyseenalaistamatta sen sijaintia PI-kaaviossa. Paremmalla yhteistyöllä PI-kaaviot voisivat olla muuttumattoman lähtötiedon sijaan prosessi- ja putkistosuunnittelun yhdessä kehittämä dokumentti, jota muokataan tarvittaessa.

Yhteistyöllä voitaisiin saavuttaa säästöjä suunnittelussa ja toteutuksessa, kun muun muassa haarautumispisteiden ja venttiilien paikkoja voitaisiin vaihdella ennen varsinaisen putkistosuunnittelun alkamista. Periaatteessa PI-kaavioita voitaisiin muokata putkistosuunnittelun ollessa jo vauhdissa, mutta tässä vaiheessa suunnittelutyö on jo siirtynyt alihankkijoille. Alihankkijoilla ei välttämättä ole motivaatiota ilmoittaa havaitsemistaan virheistä tai mahdollisuuksista säästää putkea, koska siitä aiheutuu ylimääräistä työtä, eikä alihankkija itse saavuta sillä säästöjä, pahimmassa tapauksessa päinvastoin. Projektin esisuunnitteluvaiheen putkistosuunnittelijan tehtäviin voisi kuulua tiiviimpi yhteistyö prosessisuunnittelun kanssa, jotta PI-kaavioita voitaisiin muokata ennen kuin niiden perusteella aletaan suunnitella putkistoa.

Ideaalitilanteessa suunnittelijoilla olisi käytettävissään järjestelmäkohtaiset PI-kaaviot, joissa jokainen järjestelmä mahtuu yhdelle arkille. Yhdellä arkilla olevat putkilinjat voitaisiin vielä värittää suunnittelupaineen ja -lämpötilan sekä väliaineen mukaan, jolloin mahdollisesti yhdistettäväksi sopivien putkilinjojen huomaaminen olisi helpompaa. Sitten kaavioita voitaisiin muokata yhdessä prosessisuunnittelun kanssa sellaiseen muotoon, että niiden noudattaminen ei aiheuta turhia rinnakkaisia putkia. Kaavioiden muokkaaminen tapahtuisi iteratiivisesti, koska kaavioihin tulee muutoksia vielä projektin kuluessa, jolloin on tarpeen tarkistaa kaaviot mahdollisten säästökohteiden varalta uudelleen.

Tulevaisuudessa COMOS-ohjelman päivittyessä tai vanhentuessa olisi kannattavaa selvittää, että miten PI-kaavioita halutaan käyttää jatkossa. Nykyisen järjestelmän joustavuutta rajoittaa osittain keinotekoinen kokorajoitus, koska PI-kaaviot halutaan tulostaa paperille. Yksi esille tullut vaihtoehto ongelman kiertämiseksi olisi suunnitella kokonainen järjestelmä yhdelle sivulle, joka tulostusvaiheessa jaettaisiin sopivan kokoisiin palasiin (Haastattelut Metsolla, 2013). Vaihtoehdon etuna on, että näyttöjen koon kasvaessa paperiarkin koko ei estä suurten kokonaisuuksien tarkastelua, mutta PI-kaaviot voitaisiin silti tulostaa paperille.

5.8.3 Putkiston prioriteettiluokat

Putkiston esisuunnitteluvaiheen aikaisten suunnitelmien ja tiedon tehdyistä päätöksistä täytyy siirtyä jotenkin varsinaista suunnittelutyötä tekeville ihmisille tai esisuunnittelutyö menee hukkaan. Tietoa voidaan siirtää erilaisten muistioiden ja suunnitteluohjeiden avulla, mutta vaarana on, että niitä ei noudateta. Yksinkertaisella suunnittelujärjestystiedolla voidaan vaikuttaa käytännön suunnittelutyöhön ilman monimutkaisia järjestelyjä. COMOS-ohjelmassa on olemassa attribuutti prioriteettiluokille, mutta sitä ei ole enää käytetty ja se on piilotettu. Olemassa olevan muuttujan käyttö nopeuttaisi prioriteettiluokkien käyttöönottoa ja se vaatisi vähemmän työtä. Putkistojen jakaminen eri luokkiin

pitäisi kuitenkin tehdä ennen prioriteettiluokkien hyödyntämistä. Lisäksi jako on tarkistettava aina projektin alussa tai vaarana on, että käytetään projektiin sopimatonta jakoa, jolloin prioriteettiluokista voi olla enemmän haittaa kuin hyötyä.

Putkiston jakaminen eri luokkiin edellyttää päätöstä siitä, että kuinka montaa luokkaa halutaan käyttää. Kolme tai neljä luokkaa ovat mielestäni ainoat realistiset vaihtoehdot, koska kahden luokan käyttäminen johtaisi tilanteeseen, jossa on olemassa vain tärkeää ja ei-tärkeää putkistoa. Näin karkea jako ei mahdollistaisi riittävää tiedonvälitystä prioriteettiluokkien avulla, vaan projektin sisällä jouduttaisiin prioriteettiluokkien olemassa olosta huolimatta usein sopimaan tarkemmasta työjärjestyksestä. Yli neljän luokan käyttäminen taas johtaisi tilanteeseen, jossa joustavuus voisi kärsiä keinotekoisista luokkajajoista, jos suunnittelijat noudattaisivat järjestystä kirjaimellisesti.

Prioriteettiluokkien ongelmana on, että niitä ei voida laatia täysin neutraalisti ja luokittelu on riippuvainen tekijästä. Putkistosuunnittelun näkökulmasta esimerkiksi ulospuhallussäiliön ulospuhallusputki on tärkeä, koska se vaikuttaa koko kattilalaitoksen layouttiin. Prosessisuunnittelun kannalta se ei ole niin tärkeä, koska siinä ei ole toimilaitteita tai mittauksia. Esimerkin tapauksessa putken prioriteettiluokan päättäminen olisi riippuvainen näkökulmasta, josta se tehdään.

Prioriteettiluokituksia voidaan tehdä muun muassa putkistosuunnittelun, prosessisuunnittelun, rakennustehtäväsuunnittelun, materiaalitulauksien kiireellisyyden tai asentamisen näkökulmasta. Käytännössä kaikki näkökulmat pitäisi ottaa huomioon putkistoja luokiteltaessa ja laatia yksi luokittelu, joka ottaa kaikki näkökulmat huomioon parhaalla mahdollisella tavalla.

Putkiston prioriteettiluokkia tultaisiin käyttämään eniten putkistosuunnittelussa, mutta luokittelun pitää olla sellainen, että siitä on hyötyä koko suunnitteluprosessin kannalta. Tällöin myös prosessisuunnittelussa tiedettäisiin, että missä järjestyksessä putkistosuunnittelu tarvitsee lähtötietoja putkiston suunnitteluun. Usein ensin suunniteltavat putkistot tilataan ensin ja asennetaan teräsrakenteen pystytyksen yhteydessä, joten suunnittelun lisäksi prioriteettitiedosta voisi olla hyötyä myös materiaalitulauksien ja asennuksen suunnittelussa. Prioriteettitiedosta voisi olla hyötyä vähemmän kokeneille putkistosuunnittelijoille, jotta vältettäisiin mahdollinen tilanne, että pieniä putkia on ehditty mallintaa suurten putkien tielle ennen suurten putkien mallintamista. Tiedon avulla voitaisiin tarkkailla putkiston valmiusastetta prioriteettiluokittain, mikä voisi mahdollistaa tärkeimpien putkien valmiusasteen seuraamisen yhdellä silmäyksellä.

Luokkien määrän lisäksi prioriteettiluokkien käytännön jaon ongelmana on, että työtä ei kannata tehdä putkilinjoittain jokaisen projektin alussa, vaan jako on oltava automaattisesti käytettävissä kaikissa projekteissa. Ennalta päätettyjen sääntöjen etuna on, että niitä voidaan noudattaa projektista toiseen, jolloin samaa työtä ei tarvitse tehdä useaan kertaan.

Tämän hetkisten putkistoa koskevien luokittelujen mukaan putkia voidaan jaotella joko siirrettävän väliaineen perusteella tai WBS-numeron avulla. Prioriteettiluokkien kannalta molemmissa on ongelmansa, koska kunkin väliaineen tai WBS-numeron alla on erilaisia putkia, joille voitaisiin haluta käyttää eri prioriteettiluokkia.

PI-kaavioiden osalta prioriteettiluokkien kanssa yhdessä voidaan käyttää kaavioiden väritysominaisuuksia, mikä mahdollistaa prioriteettiluokituksen tarkastamisen helposti esisuunnitteluvaiheessa. Väritetyt kaaviot voidaan luoda projektikohtaisesti tai niitä varten voidaan luoda valmis pohja, jota voidaan käyttää kaikissa projekteissa. Jos prioriteettiluokituksia halutaan käyttää, niin silloin on myös järkevää luoda niille valmis pohja, jotta samaa työtä ei tarvitse tehdä moneen kertaan.

Taulukossa 5.3 on ehdotus putkiston prioriteettijako WBS-numeron mukaista jaottelua noudattaen. Prioriteettiluokajako voitaisiin tehdä myös jo olemassa olevan väliainejaon perusteella tai sitä varten voitaisiin kehittää uusi jaottelutapa. WBS-numeron etuna on, että olemassa olevan järjestelmän käyttöönotto ei edellytä niin paljoa työtä kuin uuden järjestelmän luominen.

Taulukko 5.3. Ehdotus putkiston prioriteettijako.

Prioriteettiluokat		
1. luokka	2. luokka	3. luokka
Päähöyryputkisto	Varoventtiilien ulospuhallusputkisto	Muu prosessiputkisto
Syöttövesiputkisto	Ruiskutusvesiputkisto, nuohoushöyryputkisto	Rakennustekninen putkisto
	Keski- ja matalapainehöyryputkisto	Kaikki muut putket
	Demivesiputkisto	

WBS-numeron mukaisen jaottelun ongelmana on, että sitä ei ole suunniteltu tähän tarkoitukseen, joten yhden WBS-numeron alla on liian paljon erilaisia putkia prioriteettijako näkökulmasta. Esimerkiksi päähöyryn ja syöttöveden WBS-numeron alle kuuluu pieniä putkia, joita ei ole tarkoituksenmukaista suunnitella samassa tahdissa kuin isoja putkia. Ainoastaan päähöyryn päälinja ja isoimmat syöttövesijärjestelmän putket ovat aina tärkeitä suunnitella mahdollisimman nopeasti, koska ne ovat esivalmistettavia putkistoja, joilla on pitkä toimitusaika. Pitkän toimitusajan lisäksi ne painavat niin paljon, että niiden massa on otettava huomioon rakennusta suunniteltaessa.

Ulospuhallussäiliön hönkäputki on layoutin kannalta tärkeä, mutta muita sen kanssa saman WBS-numeron jakavia putkia ei haluta suunnitella vielä projektin alkupuolella. Tämän takia pelkkä prioriteettijako WBS-numeron perusteella ei vielä ole riittävä tieto tärkeysjärjestyksestä suunnittelua varten, vaan lisäksi vaaditaan joko kokemusta putkistosuunnittelusta tai tarkempi projektikohtainen jaottelu.

Projektista riippuen putket voivat siirtyä prioriteettiluokasta toiseen, koska putkistojen koko vaihtelee kattilan tyypistä ja tehosta riippuen. Lisäksi esimerkiksi palovesi- ja paineilmaputket voivat kuulua myös 2. luokkaan, jos ne halutaan asentaa rakennuksen pystyttämisen yhteydessä ennen suurinta osaa muista putkistoista. Prioriteettijako on tarkastettava ennen jokaisen sitä käyttävän projektin alkua ja se on muokattava sellaiseen muotoon, että sitä voidaan käyttää kyseisessä projektissa.

Jos prioriteettijaosta halutaan sellainen työkalu, että sen käyttäminen ei vaadi kokemusta putkistosuunnittelusta, niin se ei voi perustua pelkästään WBS:n mukaisen jakoon. WBS:n mukaiset kokonaisuudet ovat niin laajoja, että niiden alle jää useassa tapauksessa monen eri prioriteettiluokan putkistoja. Vaihtoehtoina on luokitella yhden WBS-numeron alla olevia putkistoja vielä tarkemmin tai kehittää uusi jakoperuste. Kolmas vaihtoehto olisi suunnitella putkistot nykyistä tarkemmin ennen perussuunnittelun alkamista. Esisuunnittelun tekeminen kuuluisi kokeneille suunnittelijoille, jolloin prioriteettiluokille ei olisi tarvetta.

6 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Yhteenveto

Työn tavoitteena on ollut kehittää suunnitteluprosessia sellaiseen suuntaan, että kattilalaitoksesta saataisiin paremmin vakioitu kokonaisuus. Tämän työn tapauksessa on keskitytty putkistoihin ja niihin liittyviin moduuleihin. Paremmin vakioidun kokonaisuuden toivotaan laskevan kattilalaitoksen suunnitteluun ja rakentamiseen liittyviä kuluja. Helpon tapa parantaa vakiointia on pyrkiä vähentämään tarpeetonta, lisäarvoa tuottamatonta, vaihtelua eri projektien välillä. Niiltä osin kuin vakioiminen ei ole mahdollista, niin on silti mahdollista hyödyntää esisuunnittelua, jotta tehtävät suunnittelupäätökset ovat kaikkien nähtävissä jo projektin alkupuolella. Kun esimerkiksi putkireitin tilavaraus näkyy kaikille, niin tarvittavat muutokset voidaan tehdä jo esisuunnitteluvaiheessa, jolloin muutoksista aiheutuvat kulut ovat pienempiä.

Aikataulullisesti tämän työn puitteissa luodut ohjeet keskittyvät ohjaamaan suunnittelua lähinnä projektin alkupuolella, koska tällöin tehtävillä päätöksillä on suurin merkitys lopputuloksen kannalta. Ajan kuluessa ja suunnittelun edistyessä mahdollisuudet muutosten tekemiseen vähenevät tai muutosten tekeminen vaikeutuu, mikä lisää muutoksista aiheutuvia kuluja. Esisuunnittelun etuna on, että putkistojen karkea hahmottelu vaatii paljon vähemmän resursseja kuin varsinainen suunnittelu, joten sitä voidaan tehdä epävarmoilla lähtötiedoilla.

Metson käyttämät moduulit ovat toiminnallisia kokonaisuuksia, jotka liittyvät putkistoon ja rakenteisiin vakiorajapintojen avulla. Niiden sijoittaminen ohjaa niihin liittyvien putkistojen suunnittelua, mistä syystä moduulien sijoittaminen liittyy oleellisesti myös putkistojen suunnitteluun. Tässä työssä moduuleille on pystytty luomaan sijoitusohjeet, joiden avulla moduulit voidaan sijoittaa mahdollisimman vakiona pysyville paikoille eri projekteissa. Ohjeet eivät kerro, että mihin absoluuttiseen sijaintiin kukin moduuli pitäisi sijoittaa, koska kattilalaitoksen layout vaihtelee projektista toiseen. Tämän sijaan moduulien sijainnit on ilmoitettu suhteessa muihin järjestelmiin, minkä ansiosta ohjeita voidaan noudattaa kattilalaitoksen layoutista ja koosta riippumatta.

Tämän diplomityön soveltavassa osuudessa on myös luotu suunnitelma tilavarausten käytöstä putkistojen esisuunnittelussa. Metsolla käytössä oleva suunnitteluohjelma mahdollistaa tilavarausten luomisen osana suunnitteluprosessia. Käytännössä tilavarausten luominen on järkevää projektin alkupuolella osana putkistojen esisuunnittelua, koska se on kevyempi tapa suunnitella putkistojen reititystä kuin varsinainen putkistojen reititys. Tilavarausten hyödyntämisen etuna on, että tilavarauksia voidaan mallintaa kohtalaisen helposti, jolloin muutosten tekeminen ei aiheuta suuren työmäärän mene-

mistä hukkaan. Tämä on suuri etu esisuunnitteluvaiheessa, kun suuri osa lähtötiedoista on epävarmoja ja asiakkaan vaatimukset voivat muuttua merkittävästi.

Suunnitteluprosessin aikajana sitoo moduulien sijoittamisen ja tilavarausten käytön osaksi suunnitteluprosessia. Koska nykyinen putkistojen suunnitteluprosessi ei pidä sisällään kovin yksityiskohtaista putkistojen esisuunnittelua, niin esisuunnittelun sisällyttämiseksi osaksi suunnittelua on pitänyt luoda kuvaus suunnitteluprosessista tulevaisuudessa. Tärkein osa tuota kuvausta on suunnittelun aikajana, jonka avulla esisuunnittelu on mahdollista toteuttaa oikeaan aikaan ja tarkoituksenmukaisessa järjestyksessä. Aikataulun lisäksi aikajanalta selviää osa suunnittelun tarvitsemista lähtötiedoista sekä osa muiden laitossuunnittelun osa-alueiden tehtävistä, jotka liittyvät putkistosuunnitteluun. Suuri osa putkistosuunnittelun lähtötiedoista saadaan muun muassa prosessisuunnittelun tuloksena, joten on tärkeää ymmärtää, että mitä esimerkiksi prosessisuunnittelussa tapahtuu samanaikaisesti putkistosuunnittelun kanssa.

Diplomityön soveltavan osuuden lopuksi on käsitelty kehitysehdotuksia. Osa kehitysehdotuksista on kirjoitettu tätä diplomityötä varten yhdessä prosessisuunnittelun kanssa pidetyn palaverin pohjalta. Työn aikana on selvinnyt PI-kaavioiden rajallisuus putkistosuunnittelun lähtötietojen välittäjänä. Nyt PI-kaavioiden sivukoko on A3, joka rajoittaa yhdelle arkille mahtuvan informaation määrää. Sivukoon seurauksena putkistot pirstoutuvat useille sivuille, jolloin niiden muodostaman kokonaisuuden hahmottaminen on vaikeaa. Suunnitteluun käytettyjen ohjelmien kehittyessä olisi otettava huomioon mahdollisuus luoda PI-kaavioita joustavammin tulevaisuudessa. Ideaalitapauksessa PI-kaaviot eivät olisi staattinen dokumentti, vaan ne voitaisiin tulostaa monella eri tapaa. Yksi tapa voisi olla tulostaa jokainen järjestelmä omalle sivulleen, jolloin esimerkiksi turhat rinnakkaiset putket olisi helpompi tunnistaa.

Koska nykyisillä työkaluilla PI-kaavioita ei voida tulostaa vapaasti jaoteltuna, niin on tutkittu, että miten käytössä olevilla resursseilla voitaisiin tehostaa putkistosuunnittelua. PI-kaavioiden värittäminen on tunnistettu yhdeksi potentiaaliseksi ratkaisuksi. Värittämisen mahdollisuuksia tarkemmin tutkittaessa on todettu, että nykyinen työnositus ei mahdollista putkiston jakamista haluttuihin osiin siten, että värittämisestä olisi hyötyä suunnittelussa. Tästä huolimatta PI-kaavioiden värittämisestä voisi olla hyötyä, jos samaan järjestelmään kuuluvat ja samat toiminta-arvot jakavat putkistot voitaisiin värittää samalla värillä. Värittämisestä voisi olla hyötyä esimerkiksi turhien rinnakkaisten putkien tunnistamisessa.

Lopuksi on tutkittu mahdollisuutta käyttää prioriteettiluokkia putkistosuunnittelun apuna. Tarkoituksena on, että prioriteettiluokkien avulla putket voitaisiin suunnitella sellaisessa järjestyksessä, joka mahdollistaa tehokkaan tilankäytön. Tehokkaan tilankäytön yhtenä edellytyksenä on usein, että paljon tilaa vievät suuret putket mallinnetaan ennen muita putkistoja. Lisäksi putkistojen valmistusajat ovat raskaille putkistoilla niin pitkiä, että niiden suunnittelutyön on oltava valmiina ennen monia muita putkistoja. Siten jakamalla putket eri prioriteettiluokkiin voitaisiin teoriassa varmistaa, että kaikki suunnittelua tekevät osapuolet tietävät, että missä järjestyksessä putkistojen on järkevää valmistua. Käytännössä putkilinjojen nykyinen jako ei mahdollista putkien jakamista eri luok-

kiin sillä tarkkuudella, että putkistosuunnittelua tuntematon henkilö voisi mallintaa putkia tarkoituksenmukaisessa järjestyksessä ilman apua.

6.2 Johtopäätökset

Tehdyn työn perusteella esisuunnittelun määrän lisääminen vaikuttaa lupaavalta tavalta kehittää putkiston suunnitteluprosessia. Käytännössä työssä esitettyjä esisuunnittelun keinoja olisi testattava jossain projektissa, jotta nähtäisiin, että onko esisuunnittelun avulla mahdollista saavuttaa kustannussäästöjä ja kuinka suuria kustannussäästöt olisivat. Kustannussäästöjen mittaaminen on kuitenkin ongelmallista, koska projektit eroavat toisistaan monella tapaa, joten eri projektien vertailu on vaikeaa. Toisaalta tavoitteena on myös kattilalaitoksen putkistojen reitityksen vakiointi, minkä hyötyjä on myös vaikea mitata. Koska suunnitteluprosessin arvioiminen suhteessa vanhaan suunnitteluprosessiin on vaikeaa, niin siitä on tehty SWOT-analyysi. Analyysi on tehty taulukkoon 6.1, josta selviävät prosessin vahvuudet ja heikkoudet sekä prosessin mahdollisuudet ja uhat.

Taulukko 6.1. Uuden suunnitteluprosessin SWOT-analyysi.

Strenghts	Weaknesses
Mahdollistaa suuremman vakioinnin asteen	Lisää kustannuksia, vaikka tarjouskilpailun voittaminen epävarmaa
Paremmat mahdollisuudet ohjata alihankkijoiden työtä	Ei kokemusta uudesta prosessista
Tilankäytöllisiä ristiriitoja voidaan ratkaista ennen putkistojen mallintamista	Soveltuvuudesta erityyppisille kattilalaitoksille ei ole tietoa
Yhteiset putkireitit vähentävät asennuskustannuksia (mm. yhteiset sekundäärrikannakkeet)	Ei tietoa vaikutuksista myöhempään suunnitteluun
Suhteellisen kevyt ottaa käyttöön	
Vähemmän aukkoja tasoihin	
Vähemmän risteileviä putkia	
Opportunities	Threats
Suunnitteluun käytettävien järjestelmien muuttuminen tulevaisuudessa	Kustannussäästöjen todentaminen vaikeaa
Mahdollisuus hyödyntää menetelmiä laitossuunnittelun muilla osa-alueilla	Suunnitteluun käytettävien järjestelmien muuttuminen tulevaisuudessa
	Organisaation mahdollinen muutosvastarinta

Nelikentästä nähdään, että ennen tarjouskilpailun voittamista on tärkeää minimoida tehtävä esisuunnittelutyö. Tilavarausten käyttäminen ja moduulien sijoittaminen ei ole kovin työlästä, joten ne soveltuvat hyvin esisuunnittelun avuksi. Niistä on erityisesti hyötyä, jos niiden avulla voidaan korvata ennen sopimuksen syntymistä tehtävää varsinaista suunnittelutyötä. Muut suunnitteluprosessin muutosten heikkoudet liittyvät lähinnä kokemusten puutteeseen.

Esisuunnittelun suurimpia vahvuuksia ovat vakioinnin kasvattaminen ja projekteissa eteen tulevien tilankäytöllisten ristiriitojen ratkaiseminen mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Jos jo mallinnettujen putkien paikalle halutaankin sijoittaa esimerkiksi iso kanava, niin putket joudutaan mallintamaan uudelleen. Esisuunnittelun avulla tältä ongelmalta voidaan välttyä, koska ennen putkien mallintamista niiden paikalle mallinnetaan tilavaraus, joka näkyy myös kanavasuunnittelua tekeville suunnittelijoille. Tämän ansiosta tilankäyttölinen ristiriita voidaan mahdollisesti ratkaista jo ennen turhan suunnittelutyön tekemistä. Osaltaan muut vahvuudet ovat seurausta tilankäytön tehostumisesta.

Ulkopuoliset mahdollisuudet ja uhat eivät liity suoraan esisuunnitteluprosessiin. Esimerkiksi kustannusten ja säästöjen mittaamisen vaikeus ei riipu ehdotetusta suunnitteluprosessista. Jos halutaan tietää saavutetaanko esisuunnittelulla säästöjä, niin on päätettävä, että mitä mitataan ja miten.

Kehitysehdotusten osalta voidaan sanoa, että suurin osa esitetyistä ideoista ei ole toteutuskelpoisia nykyisillä järjestelmillä. Tästä huolimatta kustannussäästöt voivat olla mahdollisia lisäämällä putkisto- ja prosessisuunnittelun välistä yhteistyötä PI-kaavioiden laatimisessa. Nyt prosessisuunnittelu ei ota huomioon putkiston todellista reititystä PI-kaavioita suunnitellessaan, jonka seurauksena kattilalaitokseen voidaan mallintaa turhia rinnakkaisia putkia, vaikkei rinnakkaisuudelle olisi prosessiteknistä syytä. Toisaalta putkistosuunnittelu taas noudattaa usein PI-kaavioita kyseenalaistamatta niissä tehtyjä valintoja, kuten putkien haarautumispisteiden sijainteja. Tämän seurauksena putkistoja ei voida aina reitittää lyhintä mahdollista reittiä. Jos kattilalaitoksen layout otettaisiin paremmin huomioon jo PI-kaavioita laatiessa, niin putkien reititys voitaisiin optimoida paremmin. Yhteistyön lisäämisen etuna on, että se ei vaadi investointeja esimerkiksi käytettäviin ohjelmiin, vaan ainoastaan muutoksia suunnitteluprosessiin.

LÄHTEET

Artto, K., Martinsuo, M., Kujala, J. Projektiliiketoiminta. 1.-3. painos. Helsinki 2011, WSOYpro Oy. 416 s.

Aveva. [WWW]. [viitattu 20.6.2013]. Saatavissa: <http://www.aveva.com/>

Botermans, R., Smith, P. Process Piping Design Handbook, Volume 2 – Advanced Piping Design. 2008, Gulf Publishing Company.

http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=2166

Frayne, C. Boiler Water Treatment – Principles and Practice, Volumes I-II. 2002, Chemical Publishing Company Inc. 979 s. [WWW]. [viitattu 30.5.2013]. Saatavissa:

http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=3075

Haastattelut Metsolla. Metso Power. 2.5-15.11.2013.

Huhtinen, M., Kettunen, A., Nurminen, P. & Pakkanen, H. Höyrykattilatekniikka. Helsinki 1994, Painatuskeskus. 315 s.

Juuti, T., Lehtonen, T. Using multiple modular structures in delivering complex products. Proceedings of NordDesign 2006, University of Iceland, Reykjavik. [WWW]. [viitattu

14.11.2013].

Saatavissa:

http://www.designsociety.org/publication/24285/using_multiple_modular_structures_in_delivering_complex_products

Kaukolämmön historiaa Helsingissä. Helsingin Energia. [WWW]. [viitattu 13.6.2013]. Saatavissa: https://helen.fi/kaukolampo/kl_historia3.html

Kaukolämmön toimintaperiaate. Energiateollisuus ry. [WWW]. [viitattu 13.6.2013]. Saatavissa: <http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kaukolammitys/toimintaperiaate>

Kesti, M. Teollisuusputkistot. Helsinki 1992, Valtion painatuskeskus. 143 s.

Kippo, A., Tikka, A. Automaatiotekniikan perusteet. Helsinki 2008, Edita Prima Oy. 154 s.

Koski, T. Laadukas projektitoiminta. Kemira Engineering Mekaaninen Suunnittelu, Helsinki 1989. Luento.

L. 27.8.1999/869. Painelaitelaki.

Lehtonen, T. Designing Modular Product Architecture in the New Product Development. Tampere 2007. 229 s.

Liu, H. Pipeline Engineering. 2003, CRC Press. 411 sivua. [WWW]. [viitattu 28.5.2013]. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1201/9780203506684>

Metson sisäiset materiaalit. Metso Power Oy.

MW Power Oy. [WWW]. [viitattu 16.7.2013]. Saatavissa: <http://www.mwpower.fi/>

Nayyar, M. Piping Handbook, Seventh Edition. 2000, McGraw-Hill.

Painelaitteet. TUKES. [WWW]. [viitattu 17.6.2013]. Saatavissa: http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_oppaat/painelaiteopas.pdf

Parisher, R. A. Pipe Drafting and Design (Third Edition). 2011, Elsevier. [WWW]. [viitattu 28.5.2013]. Saatavissa: <http://www.sciencedirect.com/science/book/9780123847003>

PSK 3603. 2012. PI-kaavion esitystapa ja merkitsemisohje. PSK Standardisointiyhdistys ry. 19 s.

Pulkkinen, A. Product Configuration in Projecting Company: The Meeting of Configurable Product Families and Sales-Delivery Process. Tampere 2007.

Rayaprolu, K. Boilers for Power and Process. 2009, CRC Press. [WWW]. [viitattu 28.5.2013]. Saatavissa: <http://www.crcnetbase.com/doi/book/10.1201/EBK1420075366>

SAV Oy. [WWW]. [viitattu 11.9.2013]. Saatavissa: www.sav.fi

SFS 5362. 2004. Putkiston kannatus. Kannatuksen yksinkertaistettu esittäminen. Helsinki, Suomen standardoimisliitto. 10 s.

SFS 5363. 2000. Putkiston kannatus. Teräsputket. Suositeltavat kannatusvälit. Helsinki, Suomen standardoimisliitto. 9 s.

SFS 5364. 2000. Putkiston kannatus. Teräsputket. Suositeltavat putkivälit. Helsinki, Suomen standardoimisliitto. 9 s.

SFS-EN 5361. 2007. Putkiston kannatus. Kannakestandardien käyttö. Helsinki, Suomen standardoimisliitto. 19 s.

SFS-EN 5380. 2000. Putkiston kannatus. Riippukannakkeet. Rakenteet. Helsinki, Suomen standardoimisliitto. 11 s.

SFS-EN ISO 6412-1. 1995. Tekniset piirustukset. Putkistojen yksinkertaistettu esittäminen. Osa 1: yleisohjeet ja kohtisuora yhdensuuntaisprojektio. Helsinki, Suomen standardoimisliitto. 18 s.

SFS-ISO 6412-2. 1990. Tekniset piirustukset. Putkistojen yksinkertaistettu esittäminen. Osa 2: isometrinen projektio. Helsinki, Suomen standardoimisliitto. 14 s.

SFS-EN 12952-6. 2011. Vesiputkikattilat ja niihin liittyvät laitteistot. Osa 6: kattilan paineenalaisten osien valmistuksen aikainen tarkastus, dokumentointi ja merkintä. Helsinki, Suomen standardoimisliitto. 62 s.

SFS-EN 13480-1:en. 2013. Metallic industrial piping. Part 1: General. Helsinki, Suomen standardoimisliitto. 18 s.

Sinnot, R. K., Towler, G. Chemical Engineering Design – SI Edition (5th Edition). 2009, Elsevier.

Smith, P. Process Piping Design Handbook, Volume 1 - The Fundamentals of Piping Design. 2007, Gulf Publishing Company. [WWW]. [viitattu 28.5.2013]. Saatavissa: http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=2165

Suomen virallinen tilasto (SVT): Sähkön ja lämmön tuotanto [verkkojulkaisu]. ISSN=1798-5072. 2011, Liitetaulukko 1. Sähkön ja lämmön tuotanto tuotantomuodotain ja polttoaineittain vuonna 2011 . Helsinki: Tilastokeskus[WWW]. [viitattu: 13.6.2013].

Saatavissa: http://www.tilastokeskus.fi/til/salatuo/2011/salatuo_2011_2012-10-16_tau_001_fi.html

Suomen virallinen tilasto (SVT): Sähkön ja lämmön tuotanto [verkkojulkaisu].

ISSN=1798-5072. 2011, Liitetaulukko 3. Sähkön tuotanto ja kokonaiskulutus, GWh .

Helsinki: Tilastokeskus [WWW]. [viitattu: 13.6.2013]. Saatavissa:

http://www.tilastokeskus.fi/til/salatuo/2011/salatuo_2011_2012-10-16_tau_003_fi.html

Sähkön hankinta energialähteittäin. Energiateollisuus ry. 2012. [WWW]. [viitattu 13.6.2013].
Saatavissa: <http://energia.fi/tilastot-ja-julkaisut/sahkotilastot/sahkontuotanto/sahkon-hankinta-energialahteittain>

LIITTEET